

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

Elektrická ochrana SIPROTEC 7SJ85

Electrical protection SIPROTEC 7SJ85

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Beneš**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Elektrická ochrana SIPROTEC 7SJ85**  
**Electrical protection SIPROTEC 7SJ85**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jistění
2. Popis a rozbor funkce jednotlivých ochranných modulů ochrany SIPROTEC 7SJ85
3. Parametrizace ochrany pro typizované pole rozvodny
4. Návrh způsobu provedení sekundárních zkoušek
5. Praktické provedení sekundárních zkoušek v rozvodně

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
6. Firemní literatura a katalogy ochrany 7SJ85 a testovacího zařízení.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2020

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 13.5.2020

  
.....  
Bc. David Beneš

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za jeho rady a vedení při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Luboši Benediktovi za jeho odborné rady k této práci.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá multifunkční nadproudovou ochranou SIPROTEC 7SJ85 a jejím testováním. V rámci teoretické části práce je nejdříve rozebrána teorie ochrany a jištění. Jsou zde uvedeny základní požadavky na elektrické ochrany, jejich rozdělení a základní členy ochrany. Následuje druhá kapitola, která popisuje a rozebírá funkci jednotlivých ochranných modulů ochrany SIPROTEC 7SJ85, které se běžně používají pro chránění vedení 22kV.

Praktická část práce, která začíná třetí kapitolou, obsahuje parametrizaci ochranných modulů ochrany pro typizované pole rozvodny. V další kapitole je popsáno zkušební zařízení Omicron CMC156 a je vytvořen návrh sekundárních zkoušek. V poslední kapitole jsou provedeny praktické sekundární zkoušky ochrany s rozбором působení této ochrany.

## **Klíčová slova**

Elektrické ochrany, sekundární zkoušky, poruchy, zkrat, zemní spojení, SIPROTEC 7SJ85, Omicron CMC156, testování, parametrizace.

## **Abstract**

This master thesis is focusing on a multifunctional overcurrent protection SIPROTEC 7SJ85 and also focuses on testing of this device. In the beginning we can find out the theory of electrical protection, where are described basic requirements, classifications and divisioning of electrical protective devices. Next chapter is aiming to a description of functionality of each protective modules that are located in SIPROTEC 7SJ85 and that are usually used for a 22kV wiring protection.

Practical part contains parameterization of protective modules of electrical protection for typized field in substations control house. After that Omicron CMC156 test system is described and a suggestion of secondary tests is done. In the end real implementation of authors suggestion is realized with an analyzation how the electrical protection worked.

## **Key words**

Electrical protection devices, secondary tests, faults, short circuits, ground fault, SIPROTEC 7SJ85, Omicron CMC156, testing, parameterization.

## Obsah

Úvod.....	13
1 Teoretický rozbor ochran a jištění.....	14
1.1 Základní požadavky na elektrické ochrany .....	15
1.2 Rozdělení ochran.....	15
1.3 Základní členy ochran .....	16
1.3.1 Vstupní člen.....	16
1.3.2 Popudový člen .....	16
1.3.3 Měřicí člen.....	16
1.3.4 Logika .....	16
1.3.5 Časový člen .....	17
1.3.6 Koncový člen.....	17
1.3.7 Napájecí člen.....	17
1.4 Nadproudové ochrany .....	17
1.4.1 Nezávislá nadproudová ochrana.....	18
1.4.2 Závislá nadproudová ochrana.....	19
1.4.3 Polozávislá nadproudová ochrana.....	21
1.4.4 Mžiková nadproudová ochrana .....	21
1.4.5 Směrová nadproudová ochrana .....	22
2 Ochrana SIPROTEC 7SJ85.....	23
2.1 Složení ochrany SIPROTEC 7SJ85 .....	23
2.1.1 Analogové vstupy.....	23
2.1.2 Mikroprocesorový systém .....	24
2.1.3 Binární vstupy a výstupy.....	24
2.1.4 Prvky čelního panelu.....	24
2.1.5 Sériové rozhraní .....	24
2.1.6 Napájecí zdroj .....	24
2.2 Vlastnosti ochrany SIPROTEC 7SJ85 .....	24
2.2.1 Všeobecné vlastnosti:.....	24
2.2.2 Redundantní komunikace.....	25
2.3 Ochranné a automatizační funkce .....	25
2.3.1 Nadproudová ochrana .....	25
2.3.2 Směrová nadproudová ochrana .....	27

2.3.3	Detekce zapnutí ze studeného stavu .....	28
2.3.4	Frekvenční ochrana .....	29
2.3.4.1	Nadfrekvenční ochrana .....	29
2.3.4.2	Podfrekvenční ochrana .....	30
2.3.5	Automatika opětného zapnutí .....	31
2.3.6	Citlivá detekce zemních spojení .....	32
3	Parametrizace ochrany pro typizované pole rozvodny .....	34
3.1	DIGSI 5 .....	34
3.2	Parametrizace ochrany .....	35
3.2.1	Nastavení proudových a napěťových vstupů .....	36
3.2.2	Nastavení ochranných funkcí .....	38
3.2.2.1	Nadproudová ochrana .....	38
3.2.2.1	Směrová nadproudová ochrana .....	38
3.2.2.2	Detekce zapnutí ze studeného stavu .....	40
3.2.2.3	Frekvenční ochrana .....	40
3.2.2.4	Automatika opětného zapnutí .....	40
3.2.2.1	Citlivá detekce zemních spojení .....	42
4	Návrh sekundárních zkoušek .....	43
4.1	Testovací zařízení Omicron CMC 156 .....	43
4.1.1	Proudové výstupy .....	43
4.1.2	Napěťové výstupy .....	44
4.1.3	Binární vstupy .....	44
4.1.4	Binární výstupy .....	44
4.1.5	Analogové vstupy .....	44
4.2	Schéma zapojení ochrany a Omicronu .....	45
4.3	Základní nastavení programu Test Universe .....	46
4.4	Návrh sekundární zkoušky nadproudové ochrany .....	49
4.4.1	Úkol měření: .....	49
4.4.2	Zadání: .....	49
4.4.3	Zapojení .....	49
4.4.4	Teoretický rozbor .....	49
4.4.5	Nastavení programu Test Universe .....	49
4.5	Návrh sekundární zkoušky směrové nadproudové ochrany .....	50

4.5.1	Úkol měření:.....	50
4.5.2	Zadání:.....	50
4.5.3	Zapojení.....	51
4.5.4	Teoretický rozbor .....	51
4.5.5	Nastavení programu Test Universe .....	51
4.6	Návrh sekundárních zkoušek zapnutí ze studeného stavu.....	52
4.6.1	Úkol měření:.....	52
4.6.2	Zadání:.....	52
4.6.3	Zapojení.....	52
4.6.4	Teoretický rozbor .....	52
4.6.5	Nastavení programu Test Universe .....	52
4.7	Návrh sekundárních zkoušek frekvenční ochrany.....	53
4.7.1	Úkol měření:.....	53
4.7.2	Zadání:.....	53
4.7.3	Zapojení.....	53
4.7.4	Teoretický rozbor .....	53
4.7.5	Nastavení programu Test Universe .....	54
4.8	Návrh sekundární zkoušky automatiky opětného zapnutí.....	54
4.8.1	Úkol měření:.....	54
4.8.2	Zadání:.....	54
4.8.3	Zapojení.....	54
4.8.4	Teoretický rozbor .....	55
4.8.5	Nastavení programu Test Universe .....	55
4.9	Návrh sekundární zkoušky citlivé detekce zemních spojení.....	56
4.9.1	Úkol měření:.....	56
4.9.2	Zadání.....	56
4.9.3	Zapojení.....	56
4.9.4	Teoretický rozbor .....	56
4.9.5	Nastavení programu Test Universe .....	57
5	Praktické provedení sekundárních zkoušek na rozvodně.....	58
5.1	Sekundární zkouška nadproudové ochrany .....	59
5.1.1	Naměřené hodnoty .....	59
5.1.2	Rozbor v programu SIGRA.....	60

5.2	Sekundární zkouška směrové nadproudové ochrany .....	61
5.2.1	Naměřené hodnoty .....	61
5.2.2	Rozbor v programu SIGRA.....	63
5.3	Sekundární zkouška zapnutí ze studeného stavu.....	64
5.3.1	Naměřené hodnoty .....	64
5.3.2	Rozbor v programu SIGRA.....	64
5.4	Sekundární zkouška podfrekvenční ochrany.....	65
5.4.1	Naměřené hodnoty .....	65
5.4.2	Rozbor v programu SIGRA.....	66
5.5	Sekundární zkouška automatiky opětného zapnutí .....	66
5.5.1	Naměřené hodnoty .....	66
5.5.2	Rozbor v programu SIGRA.....	67
5.6	Sekundární zkouška citlivé detekce zemního spojení .....	68
5.6.1	Naměřené hodnoty .....	68
5.6.2	Rozbor v programu SIGRA – reálné zemní spojení.....	69
6	Závěr .....	71
	Použitá literatura .....	73



## Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Název	Jednotka
VN	Vysoké napětí	(kV)
$I_k$	Zkratový proud	(A)
$t_k$	Čas vypnutí	(s)
$I_r$	Rozběhový proud	(A)
$k_b$	Koeficient bezpečnosti	(-)
$I_n$	Největší dovolené zatížení	(A)
$k_p$	Přidržený poměr relé	(-)
$p_i$	Jmenovitý převod transformátoru proudu	(A)
$I_{k \min}$	Nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku	(A)
$k_c$	Koeficient citlivosti nadproudových ochran	(-)
$t$	Čas působení	(s)
$I_\infty$	Jmenovitý proud chráněného úseku	(A)
$Z_s$	Impedance napájecí soustavy	( $\Omega$ )
$I_0$	Nulová složka proudu	(A)
$U_0$	Nulová složka napětí	(V)
$f_n$	Jmenovitá frekvence	(Hz)
OZ	Opětné zapnutí	(-)
AC	Střídavý proud	(A)
DC	Stejnoseměrný proud	(A)
50/51 OC-3ph-A1 – Def. T1	První stupeň nesměrové nadproudové ochrany	(-)
50/51 OC-3ph-A1 – Def. T2	Druhý stupeň nesměrové nadproudové ochrany	(-)
67 Dir OC-3ph-A1 – Def. T1	První stupeň směrové nadproudové ochrany	(-)
67 Dir OC-3ph-A1 – Def. T2	Druhý stupeň směrové nadproudové ochrany	(-)

81 Underfreq.-A1-State 1	První stupeň podfrekvenční ochrany	(-)
79 Auto. Reclosing - cycle 1	První cyklus automatiky opětného zapnutí	(-)
79 Auto. Reclosing - cycle 2	Druhý cyklus automatiky opětného zapnutí	(-)
67Ns Dir.sens GFP1	Citlivá detekce zemních spojení	(-)
MLFB	Objednávací kód ochrany	(-)
PTN	Přístrojový transformátor napětí	(-)
PTP	Přístrojový transformátor proudu	(-)

## Seznam ilustrací a tabulek

Obr. 1 Spolupráce chráněného objektu a ochrany.....	14
Obr. 2 Charakteristika nezávislé nadproudové ochrany [4] .....	18
Obr. 3 Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran [4] .....	18
Obr. 4 Charakteristika závislé nadproudové ochrany [4].....	19
Obr. 5 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [4].....	20
Obr. 6 Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany [4].....	21
Obr. 7 Charakteristika mžikové nadproudové ochrany [4] .....	21
Obr. 8 Využití směrových nadproudových ochran .....	22
Obr. 9 Ochrana SIPROTEC 7SJ85 .....	23
Obr. 10 Logické schéma nezávislé nadproudové ochrany – advanced [3] .....	26
Obr. 11 Logické schéma směrové nadproudové ochrany – advanced [3].....	28
Obr. 12 Logické schéma detekce zapnutí ze studeného stavu [3] .....	29
Obr. 13 Logické schéma stupně frekvenční ochrany [3].....	31
Obr. 14 Průběh dvojnásobného opětného zapnutí [3] .....	32
Obr. 15 Logické schéma citlivé detekce zemního spojení [3].....	33
Obr. 16 Struktura DIGSI 5 .....	34
Obr. 17 Jednopolové schéma vývodu .....	35
Obr. 18 Zapojení ochrany.....	35
Obr. 19 Zapojení 3f proudových transformátorů a průvlekového transformátorů .....	36
Obr. 20 Zapojení 3f napěťových transformátorů zapojených do hvězdy a k vinutí otevřeného trojúhelníku .....	36
Obr. 21 Nastavení proudových a napěťových vstupů ochrany .....	37
Obr. 22 Nastavení přístrojových transformátorů proudů .....	37
Obr. 23 Nastavení přístrojových transformátoru napětí .....	38
Obr. 24 Nastavení nadproudové ochrany .....	38
Obr. 25 Určení směru [3] .....	39
Obr. 26 Nastavení směrové nadproudové ochrany .....	39
Obr. 27 Nastavení detekce zapnutí ze studeného stavu.....	40
Obr. 28 Nastavení frekvenční ochrany.....	40
Obr. 29 Propojení funkcí, vypnutí a OZ.....	41
Obr. 30 Nastavení automatiky opětného zapnutí .....	41
Obr. 31 Určení směru zemního spojení [3] .....	42
Obr. 32 Nastavení citlivé detekce zemního spojení .....	42
Obr. 33 Testovací zařízení Omicron CMC 156 [5].....	43
Obr. 34 Popis předního panelu CMC 156 [5] .....	45
Obr. 35 Schéma zapojení Omicronu a ochrany.....	46
Obr. 36 Omicron Test Universe .....	47
Obr. 37 Nastavení proudů a napětí Omicronu.....	47
Obr. 38 Nastavení BI Omicronu .....	48
Obr. 39 Testovací moduly.....	48
Obr. 40 Nastavení nadproudových stupňů .....	49
Obr. 41 Nastavení tolerance.....	50

Obr. 42	Zkouška nadproudové ochrany .....	50
Obr. 43	Zkouška směrové nadproudové ochrany.....	51
Obr. 44	State sequencer.....	52
Obr. 45	Nastavení State 1 .....	53
Obr. 46	Nastavení Time Assessments.....	53
Obr. 47	Nastavení Ramp States.....	54
Obr. 48	Nastavení Ramp Assesments .....	54
Obr. 49	Nastavení Shot and Times.....	55
Obr. 50	OZ - Nastavení Unseccessful Sequence.....	55
Obr. 51	OZ - Nastavení Assessment Settings .....	55
Obr. 52	Schéma zapojení pro citlivou detekci zemního spojení .....	56
Obr. 53	Zemní spojení.....	57
Obr. 54	QuickCMC.....	57
Obr. 55	Zapojení Omicronu a ochrany.....	58
Obr. 56	Zkouška nesměrové nadproudové ochrany - naměřené hodnoty .....	59
Obr. 57	Vypínací charakteristika nesměrové nadproudové ochrany.....	60
Obr. 58	Popud nadproudu ve fázi A.....	60
Obr. 59	Popud a působení ochrany .....	61
Obr. 60	Popud ve fázi B při zkratu.....	61
Obr. 61	Zkouška směrové nadproudové ochrany - naměřené hodnoty.....	62
Obr. 62	Vypínací charakteristika nesměrové nadproudové ochrany.....	62
Obr. 63	Popud směrového nadproudu ve fázi B .....	63
Obr. 64	Popud směrového článku při směrovém zkratu .....	63
Obr. 65	Zkouška zapnutí ze studeného stavu nadproudové ochrany .....	64
Obr. 66	Zapnutí proudu z Omicronu.....	64
Obr. 67	Zapnutí ze studeného stavu .....	65
Obr. 68	Zkouška podfrekvenční ochrany .....	65
Obr. 69	Působení frekvenční ochrany .....	66
Obr. 70	Zkouška automatiky opětného zapnutí.....	67
Obr. 71	Působení prvního cyklu automatiky OZ .....	67
Obr. 72	Zkouška $U_0$ .....	68
Obr. 73	Zkouška $I_0$ .....	68
Obr. 74	Změna úhlu $I_0$ .....	69
Obr. 75	průběh zemního spojení .....	69
Obr. 76	Fázory $U_0$ a $I_0$ před a po připnutí odporníku .....	70
Obr. 77	Popud zemní směrové ochrany .....	70
Tab 1	Rozdělení ochran.....	15
Tab 2	Shrnutí působení ochrany.....	72

## Úvod

Při provozování elektrizačních soustav se mohou vyskytovat i takové stavy, které narušují bezpečnost provozu. Přitom dochází k tepelnému, elektrickému a mechanickému namáhání elektrického zařízení nebo dokonce k ohrožení osob. Ze strany odběratelů elektrické energie je navíc kladen stále větší důraz na kvalitu, bezpečnost a spolehlivost dodávky. Dlouhodobý výpadek elektrického proudu může způsobit značné ekonomické škody. I to jsou důvody, proč udělaly elektrické ochrany v poslední době obrovský krok dopředu.

Elektrické ochrany nám zajišťují bezpečný a spolehlivý chod dané části elektrizační soustavy tak, aby elektrická energie byla dodávána do potřebných míst. Při jejich správném působení mohou ochránit drahá zařízení nebo zajistit stabilitu elektrizační soustavy, naopak při jejich nežádoucím působení může pak dojít k velkým ztrátám. Elektromechanické ochrany jsou dnes již považovány za málo spolehlivé a zastaralé, proto probíhá jejich nahrazení moderními digitálními ochranami. Digitální ochrany v sobě sdružují velké množství funkcí, bývají modulární a je možné je obsluhovat dálkově. Kromě zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti dochází například také k úspoře místa.

Tato práce je rozdělena do několika částí. První část obsahuje teoretický rozbor ochran a jističů. Jsou zde uvedeny základní požadavky na elektrické ochrany, jejich rozdělení a základní členy ochran. V druhé kapitole, jsou popsány a rozebrány jednotlivé funkce ochranných modulů ochrany SIPROTEC 7SJ85, které se běžně používají pro chránění vedení 22kV. Třetí kapitola popisuje parametrizační program DIGSI 5 a je zde znázorněno běžné nastavení ochranných funkcí, které byly rozebrány v předchozí kapitole. V následující kapitole je popsáno zkušební zařízení Omicron CMC156, a je zde vytvořen návrh sekundárních zkoušek pro jednotlivé ochranné moduly. V závěrečné kapitole jsou provedeny sekundární zkoušky a rozbor působení ochrany při jednotlivých poruchách.

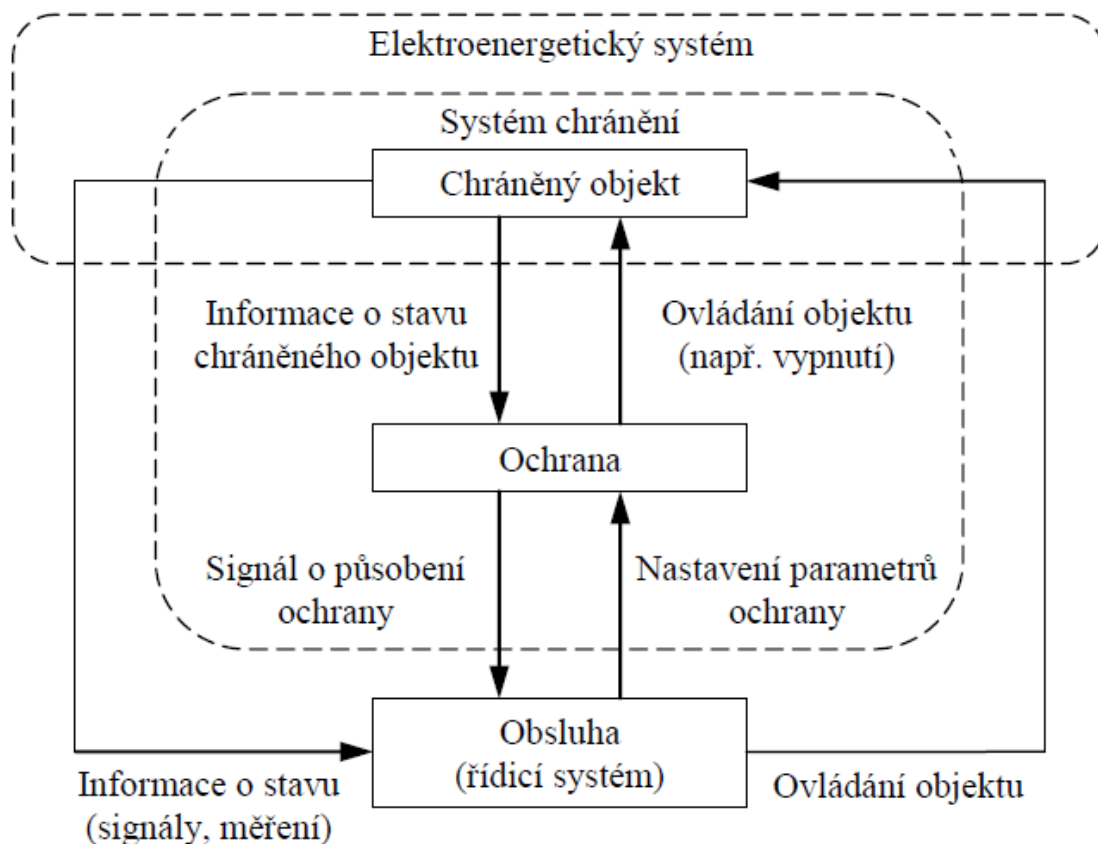
# 1 Teoretický rozbor ochran a jištění

Elektrizační soustava zahrnuje prvky na výrobu, transformaci, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie. Z hlediska zabezpečení spolehlivosti provozu je systém chránění důležitou částí elektrizační soustavy.

Elektrická ochrana je jedna ze součástí systému chránění. Její úlohou je na základě vstupních informací, které získává z přístrojových transformátorů proudů a napětí, případně dalších čidel, a nastavených parametrů rozhodnout, zda jde o poruchový stav nebo o provozní stav. Na základě identifikace poruchového stavu uvnitř chráněného objektu musí ochrana vyslat povel na vypnutí vypínače nebo signalizovat abnormální provozní stav obsluze. Od elektrických ochran se vyžaduje, aby přesně působily ve vymezených zónách tak, aby bezporuchové části elektrizační soustavy zůstali vždy v provozu, resp., aby následky poruch byli eliminované na co nejmenší míru. [1]

Chráněným objektem je fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin jako je například napětí, proud, okamžitý výkon, okamžitý kmitočet, teploty v určitých místech objektu, mechanické rychlosti a síly apod. Velikost těchto veličin charakterizuje současné chování objektu.

Porucha označuje takový stav objektu, kde naměřené fyzikální veličiny překračují meze normami daného stavu provozu.



Obr. 1 Spolupráce chráněného objektu a ochrany

## 1.1 Základní požadavky na elektrické ochrany

- **Spolehlivost** – spolehlivě určit poruchu nebo překročení meze normálního provozu.
- **Rychlost působení ochrany** – je čas od identifikace poruchy až po vyslání vypínacího povelu na vypínač.
- **Citlivost** – jde o schopnost ochrany reagovat na poruchy i bezvýznamného narušení normálního provozu.
- **Odolnost ochrany při rušení** – vlivy prostředí, kterým jsou ochranné systémy vystavovány, tyto systémy poškozují. Může jít o prašné prostředí, povětrnostní vlivy, otřesy, elektromagnetická pole vznikající při zkratech apod.
- **Přesnost** – je vyjádřena v procentech a stanovuje se poměrnou chybou citlivosti ochrany
- **Selektivita** – vypnout pouze poškozenou část elektrizační soustavy tak, aby zařízení bez poruchy zůstali nadále v provozu.

### Selektivitu lze zajistit:

- časovým odstupňováním vypínacích časů
- odstupňováním hodnoty nastavené veličiny
- měřením více veličin současně (impedanční ochrany)
- měřením veličiny na více místech (rozdílové a srovnávací ochrany)
- směrovým nastavením ochran

## 1.2 Rozdělení ochran

Tab 1 Rozdělení ochran

Podle druhu poruchy	Podle principu činnosti ochrany	Podle doby působení	Podle konstrukce	Podle typu chráněného objektu
1) Zkratová 2) Přepět'ová 3) Podpět'ová 4) Při zemním spojení 5) Při zpětném toku výkonu 6) Při ztrátě buzení 7) Při nesymetrii 8) Nadfrekvenční 9) Podfrekvenční	1) Proudová 2) Napět'ová 3) Distanční 4) Rozdílová 5) Srovnávací 6) Frekvenční 7) Wattová 8) Jalová 9) Při nesymetrii	1) Časově závislé 2) Časově nezávislé 3) Časově polozávislé 4) Mžikové	1) Elektromechanické 2) Tranzistorové 3) Číslicové	1) Generátoru 2) Motoru 3) Transformátoru 4) Přípojnic 5) Vedení 6) Kabelu 7) Troleje 8) Vypínače

## 1.3 Základní členy ochran

Ochrana se skládá z těchto základních členů (nemusí obsahovat všechny):

- 1) Vstupní člen
- 2) Popudový člen
- 3) Měřicí člen
- 4) Logika
- 5) Časový člen
- 6) Koncový člen
- 7) Napájecí člen

### 1.3.1 Vstupní člen

Převádí kontrolovanou veličinu na zpracovatelný tvar a požadovanou úroveň pro další části ochrany tak, aby mohli pracovat na úrovni voltů a miliampérů. Tímto dosáhneme miniaturizaci dalších členů ochrany. Jmenovité vstupní napětí je 100 V a jmenovitý vstupní proud může být 1 anebo 5 A. Tyto veličiny jsou na vstup ochrany přivedené z přístrojových transformátoru napětí (PTN) anebo proudu (PTP). [1]

### 1.3.2 Popudový člen

V případě vzniku poruchy v energetické soustavě v dosahu ochrany, podává o ní popudový člen informaci logice a měřicímu členu ochrany. O tom, zda příslušná porucha patří do kompetence ochrany, rozhodne měřicí člen a logika. Popudový člen zaručí pouze rozběh těchto obvodů. Tento člen má vyšší citlivost než měřicí člen. [2]

### 1.3.3 Měřicí člen

Rozhoduje o vyhodnocení poruchy v objektu. Na jeho vstup je přiveden stav chráněného objektu. Vymezuje prostor působení ochrany. Charakteristika ochrany odpovídá použitému měřicímu členu, resp. principu měření. Rozlišujeme tyto typy měřících členů:

- a) Na amplitudovém principu:
  - Nezávislý měřicí člen
  - Závislý měřicí člen
  - Rozdílový měřicí člen
  - Součtový měřicí člen
  - Amplitudový komparátor
- b) Fázový měřicí člen
  - Fázový komparátor

### 1.3.4 Logika

Logika ochrany má za úkol zpracovat logický signál z popudu a určit funkci měřicímu členu. Poté na základě signálu z měřicího členu určit funkci koncovému členu. Všechny vstupy a výstupy logiky



jsou booleovské funkce. Proto její strukturu lze vytvořit jako soustavu tří logických funkcí: součtu, součinu a negace. Lze ji realizovat těmito členy:

- Klasická pomocná relé
- Jazyčkové relé
- Diody
- Tranzistory
- Integrované obvody
- Software číslicového procesoru [2]

### 1.3.5 Časový člen

Prodlužuje dobu působení ochrany. Jeho výstup je signál z logiky. Časový člen se používá z těchto důvodů:

- K zajištění selektivity** – zpožděním ochrana umožňuje funkci jiné ochrany, která je blíže k poruše.
- Využití možné akumulace energie** – zpožděním může ochrana dovolit přetížení, pokud toto přetížení neohrozí objekt.
- Vyloučení chybného působení ochrany** – která je způsobená přechodnou poruchou krátkého trvání. [2]

### 1.3.6 Koncový člen

Je klasické elektromagnetické relé s výkonovými kontakty. Jeho úlohou je přivést napětí na jednu z dvou ovládacích cívek výkonového vypínače. Kontakty musí mít dostatečnou proudovou zatížitelnost a samotný člen musí mít dostatečnou odolnost proti vnějšímu rušení. [1]

### 1.3.7 Napájecí člen

Napájecí člen napájí obvody dílčích částí ochran, které pro svoji činnost vyžadují pomocný zdroj energie. Obvody ochran můžou být napájené těmito způsoby:

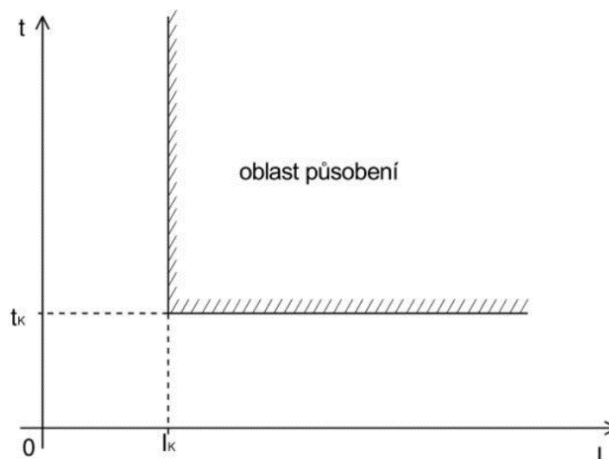
- Ochrany bez napětí** – nepotřebují pomocný zdroj energie
- Ochrany napájené ze staniční akumulátorové baterie**
- Napájení z přístrojových transformátoru**
- Napájení ze střídavé sítě** [1]

## 1.4 Nadproudové ochrany

Tyto ochrany jsou používány především pro svou jednoduchost. Princip působení je od zvýšeného proudu při přetížení nebo zkratu. Nevýhodou je pak horší selektivita oproti distančním nebo rozdílovým ochranám. Nadproudové ochrany se hlavně nasazují u vedení VN, méně důležitých zařízení nebo jako záložní ochrany. Z hlediska působení nadproudových ochran rozeznáváme několik typických charakteristik [2]:

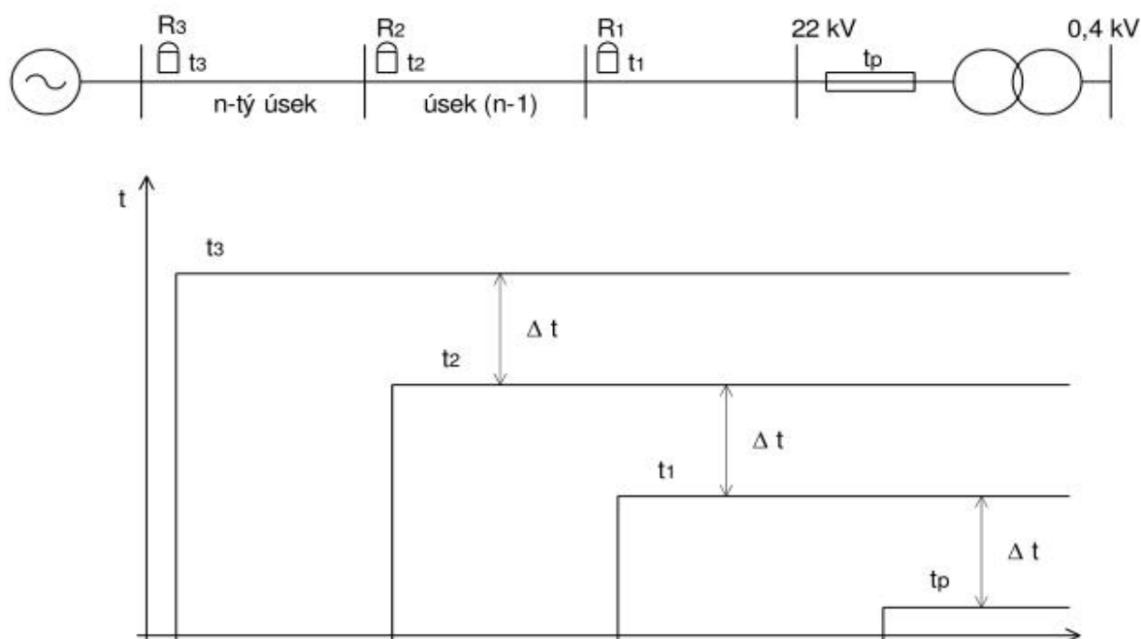
### 1.4.1 Nezávislá nadproudová ochrana

Tato ochrana působí při dosažení proudu  $I_k$  v nastaveném čase  $t_k$ . Při dosažení proudu  $I_k$  již pak dále nezávisí na velikosti tohoto proudu a vypínací čas je konstantní. [4]



Obr. 2 Charakteristika nezávislé nadproudové ochrany [4]

Nezávislé nadproudové ochrany se nejčastěji nasazují v radiálních sítích vysokého napětí, kde je řada úseků spojena v sérii. Ochrana, která leží nejdále od zdroje, působí v nejkratším čase  $t_1$ . Tento čas musí ale být delší než čas působení pojistek v rozvodné síti nízkého napětí. Ochrany R2 a R3 je pak nutné, pro zachování selektivity, časově odstupňovat intervalem  $\Delta t$ . Proudové nastavení měřících členu je pak nutno seřadit tak, aby se ochrany v sousedních úsecích vzájemně záložovaly. Nevýhodou je, že „nejtěžší“ zkraty jsou nejbližší zdroji a jsou vypínány nejpozději. [4]



Obr. 3 Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran [4]

Nastavení rozběhového proudu nezávislých nadproudových ochran musí být větší, než největší dovolené zatížení vedení:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i}$$

Dále rozběhový proud  $I_r$  musí být menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku:

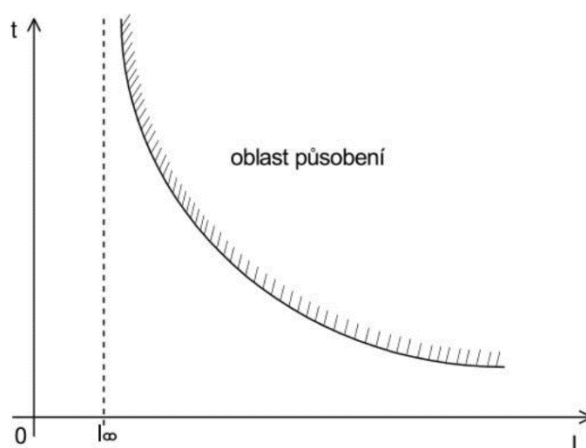
$$I_r < \frac{I_{k \min}}{k_c \cdot p_i}$$

#### 1.4.2 Závislá nadproudová ochrana

Na rozdíl od nezávislých nadproudových ochran, kde je vypínací čas konstantní, je čas působení závislý na velikosti protékajícího poruchového proudu. Charakteristiku má definovanou následovně [4]:

$$t = \frac{K}{(I - I_\infty)^n} \quad \text{pro} \quad I > I_\infty$$

$$t = \infty \quad \text{pro} \quad I \leq I_\infty$$



Obr. 4 Charakteristika závislé nadproudové ochrany [4]

Ochrana tedy, pokud není dosažen proud větší než  $I_\infty$ , nereaguje.

Norma IEC rozlišuje tyto čtyři základní typy křivek:

a) Normálně inverzní

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_\infty}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p$$

b) Velmi inverzní

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_{\infty}}\right)^1 - 1} \cdot T_p$$

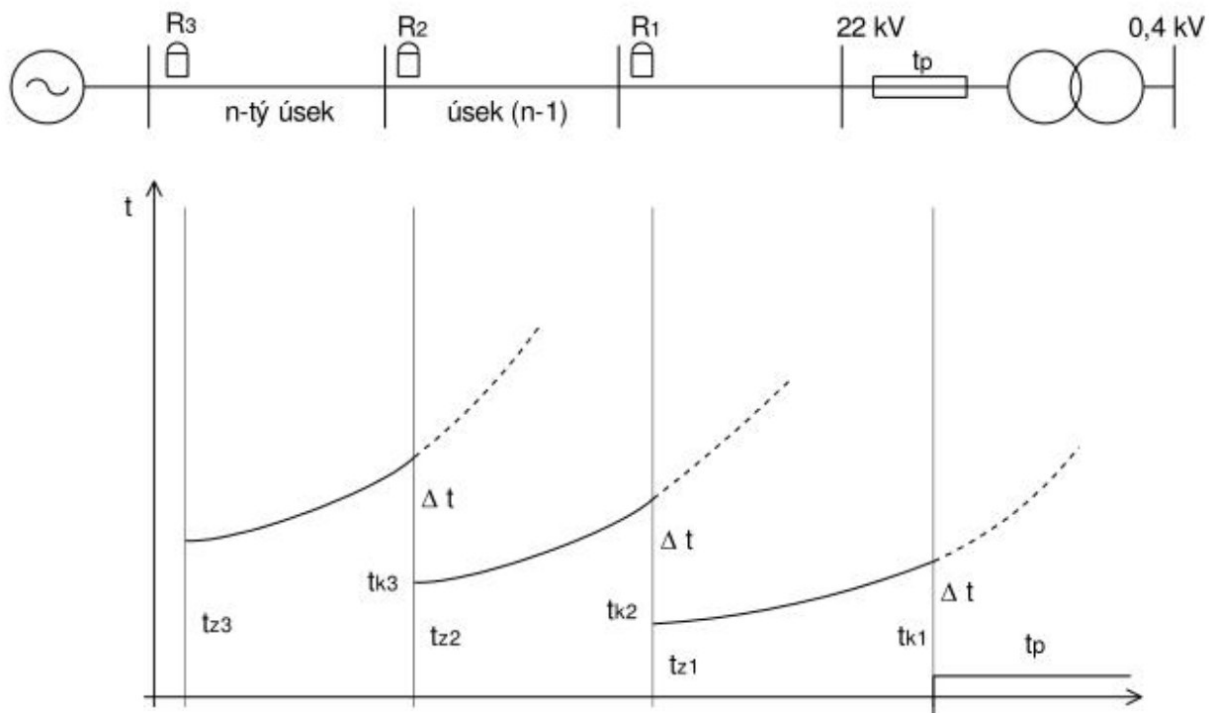
c) Extrémně inverzní

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{\infty}}\right)^2 - 1} \cdot T_p$$

d) Dlouhodobě inverzní

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_{\infty}}\right)^1 - 1} \cdot T_p$$

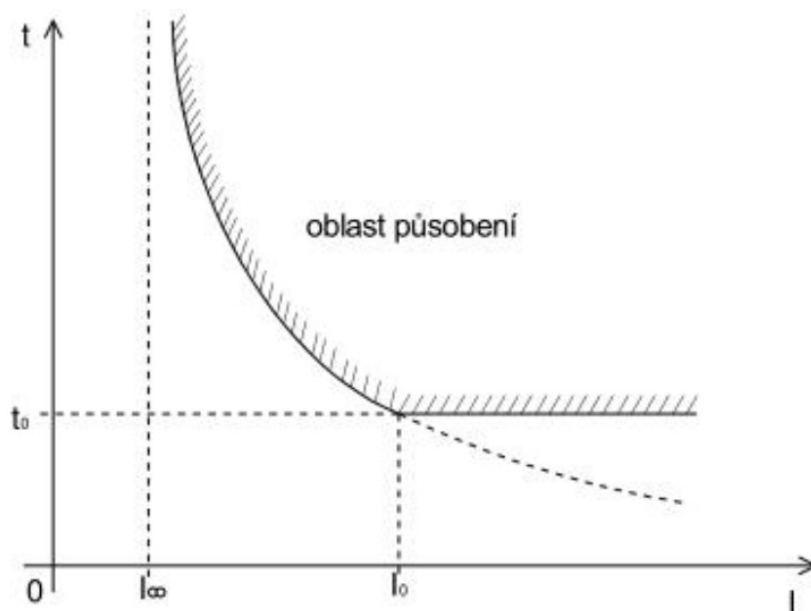
Výhodou závislých nadproudových ochran spočívá v tom, že zkracuje dobu, za kterou je vypnut zkrat na začátku linky, kde vznikají nejtěžší zkraty. Zkraty blíže zdroji budou tedy vypínány v čase kratším než  $t_k$ . Toto vznikne ale pouze tehdy, pokud je splněná podmínka  $Z_1 \geq Z_s$ . Tyto ochrany se nejčastěji používají v paprskových sítích vysokého napětí, kde je uzel transformátoru uzemněn přes odpor. Využívání kombinace závislých a nezávislých nadproudových ochran na úsecích jednoho paprsku je nežádoucí a mohlo by dojít k chybnému vypínání. [4]



Obr. 5 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [4]

### 1.4.3 Polozávislá nadproudová ochrana

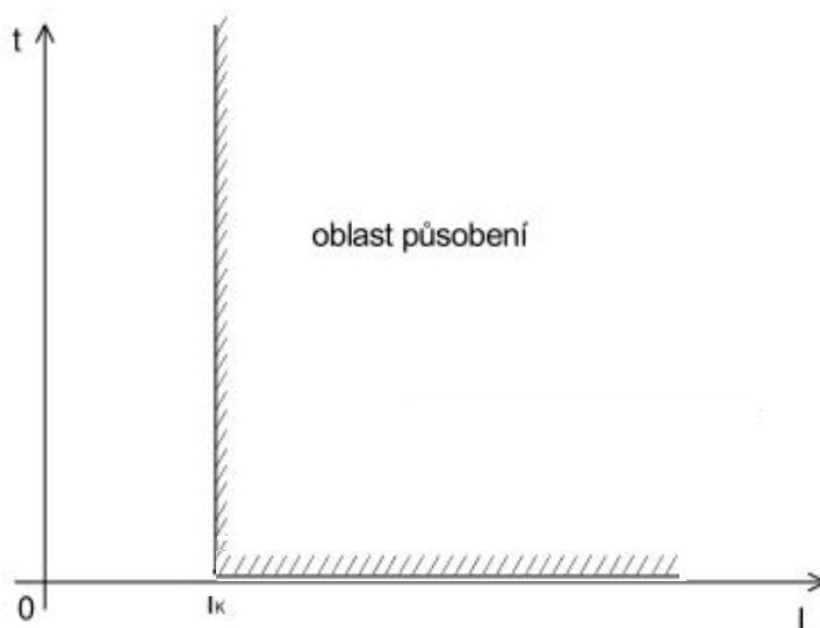
Polozávislá nadproudová ochrana má stejnou vypínací charakteristiku jako závislá ochrana, ale pouze do velikosti proudu  $I_0$ . Pro proudy větší než  $I_0$  má pak konstantní dobu působení, tzn. působí jako nezávislá nadproudová ochrana. [4]



Obr. 6 Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany [4]

### 1.4.4 Mžiková nadproudová ochrana

Při překročení nastaveného proudu  $I_k$  působí ochrana bez zpoždění. Zpoždění je zapříčiněno pouze vlastním časem ochrany, který u moderních ochrany je v řádu milisekund. [4]

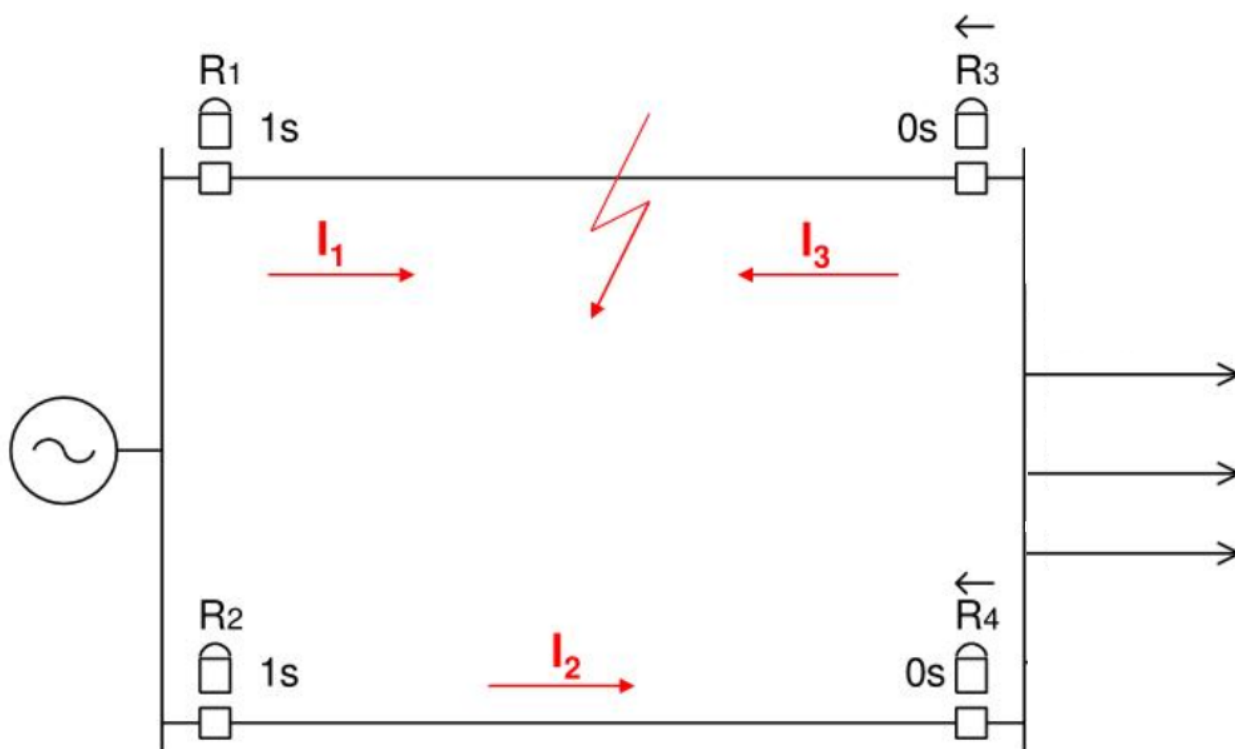


Obr. 7 Charakteristika mžikové nadproudové ochrany [4]

### 1.4.5 Směrová nadproudová ochrana

Směrová nadproudová ochrana se využívá k zajištění selektivity, jelikož ochrana působí pouze v jednom směru. Využití těchto ochran najdeme všude tam, kde může být místo zkratu napájeno ze dvou stran, např. paralelní vedení, okružní síť nebo paprsková síť napájená ze dvou stran. Směrový článek je zkonstruován jako součinnový měřicí člen. Může jít například o indukční nebo elektrodynamické relé, které měří směr toku činného nebo jalového výkonu. Je zde vyžadována vysoká citlivost. V praxi se nejčastěji setkáváme s nezávislým typem těchto ochran. [6], [2]

Funkci směrových ochran vidíme na obrázku č. 8. Zkrat vznikl na vedení mezi ochranami R1 a R3. Jestliže by na vedeních byli pouze ochrany R1 a R2, pak by došlo k vypnutí obou vedení, tzn. i k vypnutí vedení bez poruchy. Stejný případ by nastal, kdyby ochrany R3 a R4 nebyly vybaveny směrovým článkem. Při zkratu dojde k popudu ve všech ochranách. Jako první zapůsobí ochrana R3, ochrana R4 je blokována směrovým článkem. Ochrana R2 přejde do klidového režimu a konečné vypnutí postiženého vedení provádí ochrana R1. [6]



Obr. 8 Využití směrových nadproudových ochran

## 2 Ochrana SIPROTEC 7SJ85



Obr. 9 Ochrana SIPROTEC 7SJ85

Digitální multifunkční ochrana a řídicí přístroj pole je vybavená výkonovým mikroprocesorem. Tím jsou digitálně zpracovány všechny úkoly od detekce měřených veličin až k vydání příkazu na výkonový vypínač.

### 2.1 Složení ochrany SIPROTEC 7SJ85

#### 2.1.1 Analogové vstupy

Ochrana obsahuje proudové a napěťové převodníky, které přizpůsobují proudy a napětí přivedené z měřicích transformátorů proudu a napětí na úroveň, kterou je ochrana schopná zpracovat. Proudové vstupy jsou určeny k měření fázových proudů a zemního proudu. Při použití kabelového průvlekového transformátoru, lze zemní proud měřit také citlivě. Napěťové vstupy pak slouží pro měření napětí, které se dále využívá pro funkce, kde je nutné pro správné vyhodnocení zpracovat jak napěťové, tak proudové měřené hodnoty. Analogové hodnoty jsou dále pak interně digitalizovány pro další zpracování ve vnitřním mikroprocesoru. [3]

### 2.1.2 Mikroprocesorový systém

V mikroprocesorovém systému se zpracovávají všechny funkce přístroje, mezi které například patří:

- úprava a filtrace měřených veličin
- trvalá kontrola měřených veličin
- kontrola podmínek pro náběh jednotlivých ochranných funkcí
- dotaz na mezní hodnoty a časové průběhy
- řízení signálů pro logické funkce
- rozhodnutí o vypínacích a zapínacích povelích
- ukládání informací, poruchových dat a poruchových hodnot pro analýzy poruch
- správa operačního systému a jeho funkcí, jako jsou např. ukládání dat do paměti, hodiny reálného času
- komunikace, rozhraní
- vnější distribuce informací

### 2.1.3 Binární vstupy a výstupy

Přes binární vstupy získává přístroj informace z rozvodny nebo z jiných přístrojů například stavy prvků nebo blokovací povelů. Binární výstupy slouží především pro povel na spínací prvky nebo pro dálkovou komunikaci. [3]

### 2.1.4 Prvky čelního panelu

Ochrana obsahuje přední panel s LC displejem, programovatelné LED diody, numerickou klávesnici a ovládací klávesy. Numerická klávesnice umožňuje ve spojení s LC displejem místní ovládání přístroje. Přitom mohou být všechny informace přístroje, tzn. parametry nastavení, provozní a poruchové informace, měřené hodnoty atd. zobrazeny a parametry nastavení se mohou změnit. [3]

### 2.1.5 Sériové rozhraní

Sériové rozhraní na čelním panelu slouží ke komunikaci s PC při použití programu DIGSI. Tímto je umožněno ovládání všech funkcí přístroje. Další rozhraní na zadní straně ochrany slouží pro realizaci různých komunikačních protokolů. [3]

### 2.1.6 Napájecí zdroj

Jednotlivé funkční jednotky jsou napájeny vnitřním zdrojem. Krátkodobé výpadky napájecího napětí, které mohou vzniknout při zkratech v systému pomocného napájení, jsou překlenuty pomocí kondenzátorů. [3]

## 2.2 Vlastnosti ochrany SIPROTEC 7SJ85

Přístroje SIPROTEC 5 na úrovni pole jsou kompaktní a instalují se přímo do rozvaděčů vysokého a velmi vysokého napětí. Vyznačují se úplnou integrací ochranných a řídicích funkcí. [3]

### 2.2.1 Všeobecné vlastnosti:

- Výkonný mikroprocesorový systém.



- Úplné digitální zpracování měřených hodnot a ovládání, od vzorkování a digitalizace měřených veličin až po rozhodnutí o vypnutí a zapnutí vypínače.
- Úplné galvanické a proti rušení zabezpečené oddělení od vnitřních měřících, ovládacích a napájecích obvodů rozvodny, převodníky měřených hodnot, moduly binárních vstupů a výstupů a stejnosměrným nebo střídavým napětovým převodníkem.
- Jednoduché ovládání zabudovaným ovládacím a zobrazovacím panelem nebo pomocí připojeného PC.
- Trvalý výpočet a zobrazování měřených a vypočtených hodnot na čelní straně.
- Ukládání poruchových hlášení poruch v síti s přiřazením reálného času a okamžitých hodnot pro zapisovač poruch.
- Trvalá kontrola měřených veličin a hardwaru a softwaru přístroje.
- Možná komunikace s centrálními řídicími a paměťovými zařízeními sériovým rozhraním.
- Synchronizovatelné hodiny jištěné baterií. [3]

### 2.2.2 Redundantní komunikace

Přístroje SIPROTEC 5 obsahují úplnou redundanci komunikací:

- Více redundantních komunikačních rozhraní.
- Možné redundantní a nezávislé protokoly k řídicímu místu (např. IEC 60870-5-103 a IEC 61850)
- Redundantní časová synchronizace (např. IRIG-B a SNTP). [3]

## 2.3 Ochranné a automatizační funkce

Přístroje SIPROTEC 5 disponují mnoho funkcemi a nabízejí velkou flexibilitu, co se týká zacházení s funkcemi. Funkce se mohou do přístroje nahrávat individuálně. Dále mohou být funkce kopírovány uvnitř přístroje a mezi přístroji. Mezi tyto funkce patří například nadproudová ochrana fázová, směrová nadproudová ochrana fázová, směrová nadproudová ochrana zemní, mžiková zkratová ochrana, ochrana proti nesymetrické, nadfrekvenční a podfrekvenční ochrana, automatika opětného zapnutí a další. [3]

### 2.3.1 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana je hlavní ochrannou funkcí přístroje SIPROTEC 7SJ85. Slouží k detekci zkratů na chráněném objektu. Nesměrová nadproudová ochrana je vhodná pro jednostranně napájené radiální síť nebo otevřené kruhové síť nebo jako záložní ochrana všech typů rozdílových ochran vedení, transformátorů, generátorů, motorů a přípojníc. Pro třífázovou nadproudovou ochranu jsou k dispozici dva druhy funkce – basic (základní) a advanced (rozšířená), která nabízí více funkcí a je určena pro komplexní aplikace. Na obou funkčních typech jsou z výroby nakonfigurovány dva nezávislé stupně nadproudové ochrany a jeden závislý stupeň. Ve funkčním typu advanced můžeme současně provozovat čtyři nezávislé stupně, jeden závislý stupeň a jeden stupeň uživatelsky definované charakteristiky. Ve funkčním stupni basic můžeme provozovat čtyři nezávislé stupně a jeden závislý stupeň. [3]

Měřicí metodu můžeme pro oba funkční typy vybrat ze dvou možností:

- **Měření základní harmonické:**

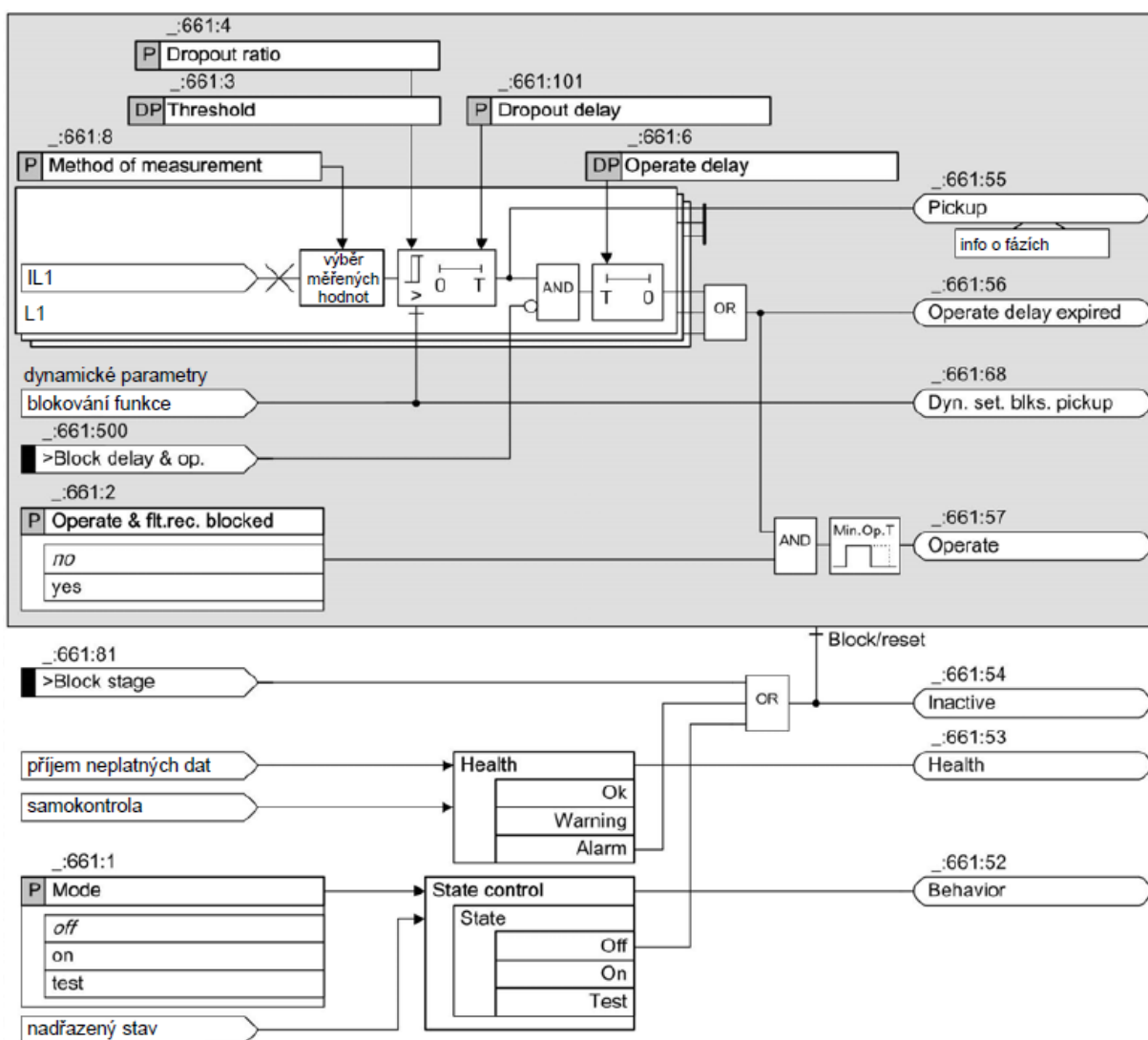
Tato měřicí metoda zpracovává vzorky proudu a filtruje základní harmonickou.

- **Měření efektivní hodnoty:**

Tato měřicí metoda zjišťuje proudovou amplitudu ze vzorkovaných hodnot podle rovnice pro definici efektivní hodnoty. Jsou zahrnuty vyšší harmonické.

K dalším možnostem nastavení patří například blokování stupně, blokování času zpoždění nebo blokování vypínacího času a vypínacího signálu vnitřní funkce pro detekci zapínacího proudu.

U funkčního typu advanced mohou mít vliv na stupně nadproudové ochrany ještě automatika opětného zapnutí, detekce zapnutí ze studeného stavu nebo binární vstupní signál. Ovlivněny mohou být například náběhové hodnoty, vypínací časy či mohou být stupně blokovány.



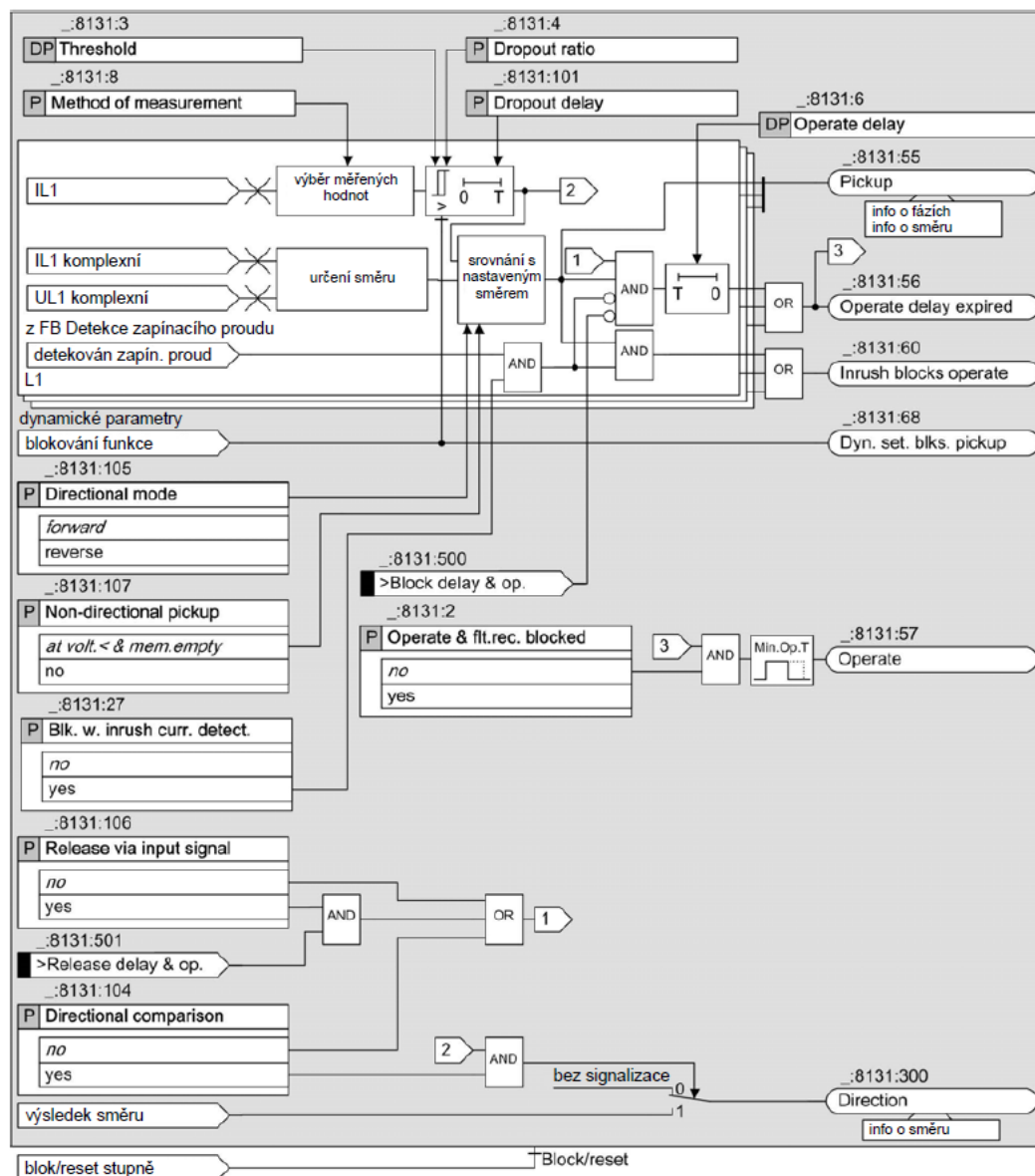
Obr. 10 Logické schéma nezávislé nadproudové ochrany – advanced [3]

### 2.3.2 Směrová nadproudová ochrana

Směrově závislá nadproudová ochrana umožňuje nasazení také v sítích, kde k docílení selektivity je kromě nadproudového kritéria nutný jako další kritérium směr toku proudu k místu poruchy. Stejně jako u výše popsané nesměrové nadproudové ochrany máme zde také dva typy funkcí, a to funkci basic a advanced se stejnými možnostmi konfigurace. [3]

Směr je určován na úrovni funkce na základě fázového úhlu mezi zkratovým proudem a napětím a má stejné účinky na všechny stupně. Každý stupeň funkce dostává tedy stejný výsledek o směru. Pro každou fázi existuje vlastní směrový měřicí člen. Pokud je překročena mezní hodnota v jedné fázi, spustí se určení směru pro tuto fázi. U vícefázových poruch provádějí všechny zúčastněné měřicí články samostatné určení směru. Jestliže jeden z určených směrů souhlasí s nastaveným směrem, stupeň naběhne. Směrový měřicí člen používá pro určení směru zkratový proud postižené fáze a zkratem nepostižené sdružené napětí jako referenční napětí. To umožňuje jednoznačné a správné určení směru také, pokud se zkratová napětí při jedno nebo dvoupólových poruchách úplně zhroutí. Pokud měřená napětí při třípólovém blízkém zkratu nedostačují pro spolehlivé určení směru, použije se uložené napětí. Pokud v paměti není žádné napětí např. při zapnutí do zkratu, je chování stupně definováno nesměrovým náběhem. Jak již bylo řečeno, směr se určuje na základě fázového úhlu mezi zkratovým proudem a referenčním napětím. Aby se mohly vzít do úvahy různé podmínky v síti a aplikace, může se referenční napětí otáčet o nastavitelný úhel. Tím se dá vektor natočeného referenčního napětí položit blízko k vektoru zkratového proudu. Výsledek určení směru je tak co nejpřesnější. [3]

Stejně jako u nesměrové nadproudové ochrany má i směrová nadproudová ochrana různé možnosti nastavení. Je zde opět možnost zvolení měřicí metody, automatiky opětného zapnutí, blokování stupně při výpadku měřeného napětí a další. Je zde také možnost určení, zda má ochrana pracovat ve směru vpřed nebo vzad. [3]



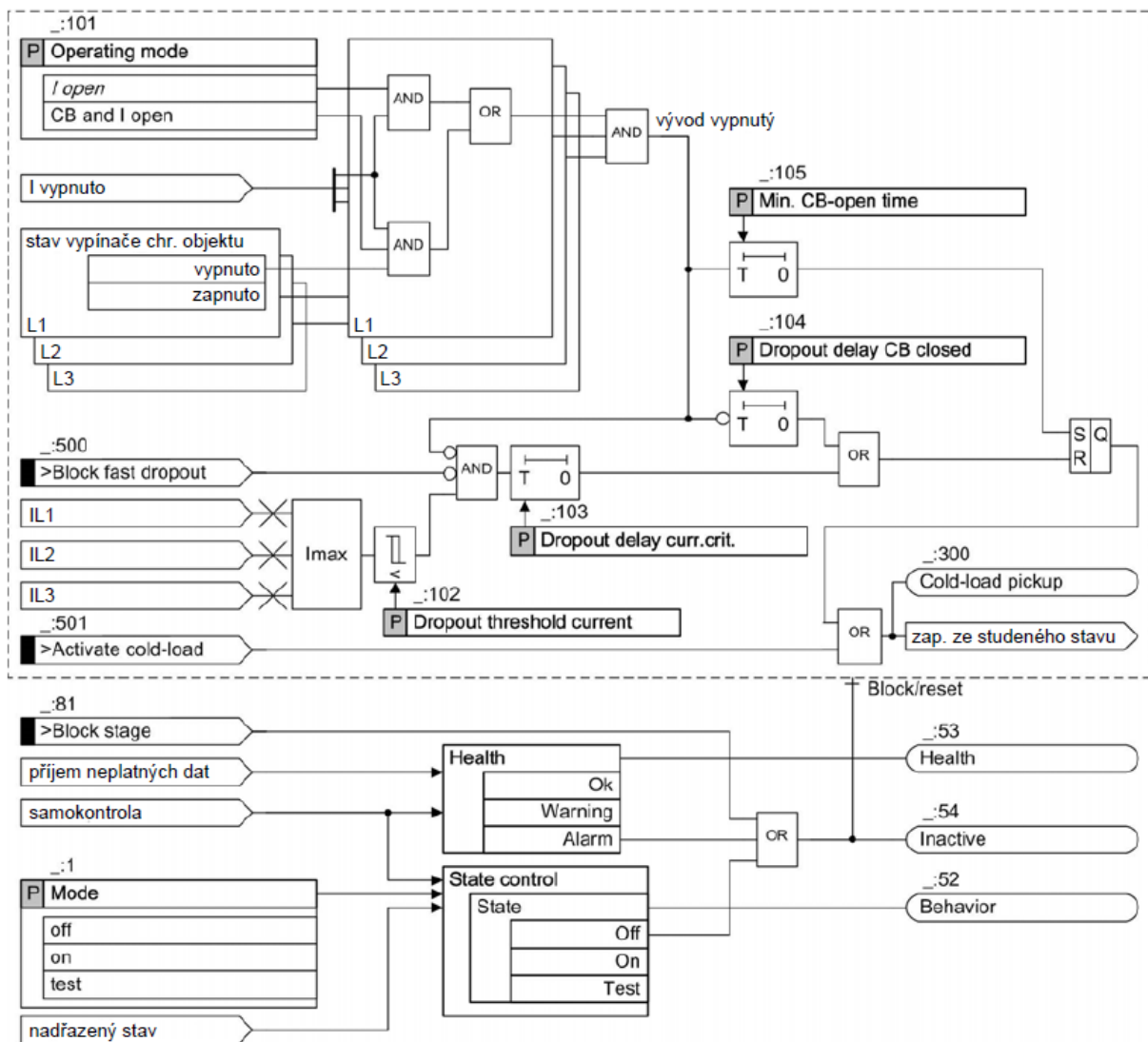
Obr. 11 Logické schéma směrové nadproudové ochrany – advanced [3]

### 2.3.3 Detekce zapnutí ze studeného stavu

Tento funkční blok zjišťuje, že po vypnutí chráněného objektu byl překročen určitý čas. Pokud chceme chráněný objekt znovu zapnout, musíme mít na paměti, že po určitou dobu po zapnutí existuje zvýšená spotřeba proudu zátěže. Toto vyplývá z druhu zátěže. Funkce tedy způsobí, že se po nastavený čas po zapnutí pracuje s jinými parametry.

Jestliže funkční blok detekuje vypnutí vývod a uplynul nastavený čas, vytvoří se informace *>Active cold-load*. Tuto informaci lze aktivovat také binárním vstupním signálem.

Pokud funkční blok detekuje zapnutí a odpovídající proud zátěže, spustí se nastavený čas, po kterou je aktivovaná parametrová sada *cold-load*. Po uplynutí nastaveného času se tato sada deaktivuje. [3]



Obr. 12 Logické schéma detekce zapnutí ze studeného stavu [3]

## 2.3.4 Frekvenční ochrana

### 2.3.4.1 Nadfrekvenční ochrana

Slouží k detekci nadfrekvence v síti nebo u elektrických strojů, monitoruje frekvenční rozsah a vydává alarmové informace, odděluje elektrárenské bloky při kritické síťové frekvenci a dodatečně chrání turbíny při selhání omezovače otáček. Odchytky frekvence vznikají nerovnováhou mezi vyrobeným a spotřebovaným činným výkonem. Nadfrekvence vzniká odlehčením zátěže nebo vadnou prací frekvenční regulace. Při nadfrekvenci vzniká nebezpečí samobuzení strojů, které pracují do dlouhých a naprázdno zapnutých vedení. [3]

Nadfrekvenční ochrana je k dispozici ve dvou funkčních konfiguracích, které se liší použitou měřicí metodou. Z výroby je nastavená se dvěma stupni a současně se mohou provozovat s maximálně třemi stupni. Jednotlivé stupně jsou strukturovány stejně. [3]

- **Měřicí metoda rozdílu úhlu:**

Tato metoda pracuje na změně úhlu vektoru napětí, protože změna úhlu vektoru napětí v časovém intervalu je úměrná změně frekvence a z toho se dá určit aktuální frekvence. Ve vícefázových systémech se zpracovává vektor sousledné složky napětí a u jednofázového připojení se zpracovává vždy vektor připojeného napětí. [3]

- **Měřicí metoda filtrování:**

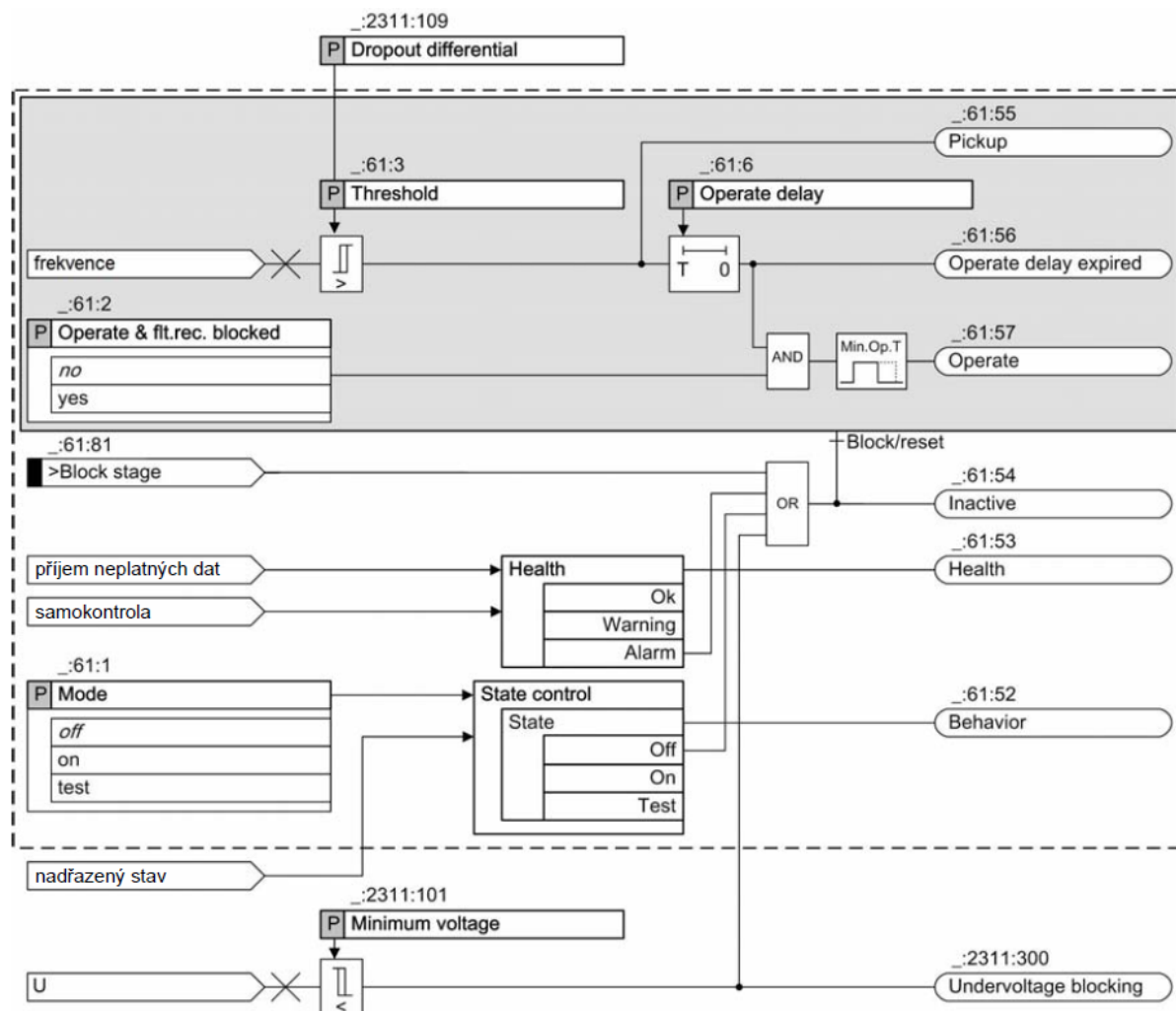
Tato metoda zpracovává okamžité hodnoty napětí a vhodnými kombinacemi filtrů určuje aktuální frekvenci. Frekvenční ochrana automaticky vybírá jako měřenou veličinu vždy nejvyšší napětí. U vícefázových systému je to největší ze sdružených napětí. Funkce dokáže pracovat také jen s jedním napětím. [3]

Tyto měřicí metody jsou velice přesné a mají krátké náběhové časy. Rušivé veličiny jako vyšší harmonické, vysokofrekvenční poruchové vlivy, skoky fázových úhlů při manipulacích a vyrovnávací děje v důsledku kývání zátěže jsou efektivně potlačeny. [3]

#### **2.3.4.2 Podfrekvenční ochrana**

Detekuje podfrekvenci v síti nebo u elektrických strojů, monitoruje frekvenční rozsah a vydává alarmové informace, odděluje síť, odlehčuje zátěž pro zabezpečení stability sítě a pro ochranu motorů, odděluje elektrárenské bloky při kritické síťové frekvenci (např.  $f < 0,95 f_N$ ). [3]

Podfrekvence vzniká zvýšenou spotřebou činného výkonu nebo snížením vyráběného výkonu. Tyto stavy se vyskytují při oddělení sítí, výpadku generátoru nebo vadnou prací výkonové a frekvenční regulace. Podfrekvenční ochrana je k dispozici také ve dvou funkčních konfiguracích, které se liší použitou měřicí metodou jako u nefrekvenční ochrany. Z výroby je nastavená se třemi stupni a současně se mohou provozovat s maximálně pěti stupni. Jednotlivé stupně jsou strukturovány stejně. Blokování stupně je možné binárním vstupem nebo při poklesu pod minimální napětí. [3]



Obr. 13 Logické schéma stupně frekvenční ochrany [3]

### 2.3.5 Automatika opětného zapnutí

Podle zkušeností zhasne asi 85 % obloukových zkratů na venkovních vedeních samo po vypnutí ochranou. Vedení se tedy může znovu zapnout. Toto znovu zapnutí je prováděno automatikou opětného zapnutí. Je dovolena jen u venkovních vedení, protože jen zde existuje možnost samovolného zhasnutí zkratového oblouku.

Pro automatiku opětného zapnutí se může použít jeden ze tří typů funkcí:

- **Cyklická automatika opětného zapnutí**

Cyklická automatika opětného zapnutí dovoluje až 8 pokusů o opětné zapnutí. Přitom každý cyklus beznapěťové pauzy může pracovat s rozdílným časem.

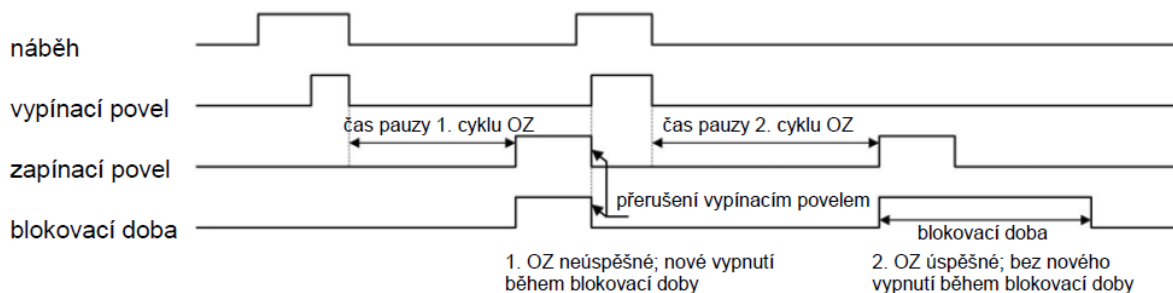
- **Automatika opětného zapnutí s adaptivní beznapěťovou pauzou**

Automatika opětného zapnutí s adaptivní beznapěťovou pauzou pracuje bez pevně stanovených cyklu přerušení. Předpokladem je, že napěťové transformátory jsou umístěny na

straně vedení. Tato automatika sama rozhoduje, zda a kdy je opětné zapnutí smysluplné, dovolené a kdy ne. Opětné zapnutí se provede, jakmile je zjištěno, že vedení bylo z protějšího konce opět uvedeno pod napětí.

- **Provoz s vnější automatikou opětného zapnutí**

Tato funkce je ovlivněná pouze přes binární vstupy. Zapínací povel je vysílán z vnější automatiky opětného zapnutí. Ochranné funkce ochrany se pak starají o vypínací povel.



Obr. 14 Průběh dvojnásobného opětného zapnutí [3]

### 2.3.6 Citlivá detekce zemních spojení

Pro detekci zemních spojení jsou k dispozici dvě funkce. Jedná se o směrovou citlivou detekci zemních spojení, která se nasazuje, pokud je k dispozici nulová složka proudu  $3I_0$  a nulová složka napětí  $U_0$ , a o citlivou zemní ochranu, která se nasazuje, pokud je k dispozici pouze nulová složka proudu  $3I_0$ . [3]

#### Směrová citlivá detekce zemních spojení slouží:

- Pro směrovou detekci trvalých a rychle zhasínajících zemních spojení v izolovaných nebo zhasínajících sítích.
- Pro určení poruchou postižené fáze.
- Pro detekci vysoko ohmových zemních zkratů v efektivně (tvrdě) nebo nízko ohmově (odporově) zemněných sítích.

Funkce je z výroby nakonfigurována s jedním stupněm  $U_0$ , jedním směrovým stupněm  $3I_0$  s měřením  $\cos \varphi$  nebo  $\sin \varphi$  a jedním stupněm pro přechodné zemní poruchy. Uvnitř funkce můžeme současně provozovat dva stupně  $U_0$ , čtyři směrové stupně  $3I_0$  s měřením  $\cos \varphi$  nebo  $\sin \varphi$ , dva směrové stupně přechodných zemních poruch, čtyři směrové stupně s měřením  $\varphi$  ( $U_0$ ,  $3I_0$ ), čtyři směrové  $Y_0$  s měřením  $G_0$  nebo  $B_0$  (jedná se o admitanční metodu) a čtyři nesměrové stupně  $3I_0$ .

Každý z těchto uvedených stupňů má možnost individuálního nastavení z hlediska měřené hodnoty a měřicí metody, náběhu a návratu či blokování stupně.

Ve zhasínajících sítích zhasínají zemní spojení často ve velmi krátkých časech po zapálení, někdy už po několika milisekundách. Takové přechodné děje jsou označovány jako přechodná zemní spojení. V takovémto případě je tedy možné blokovat působení ochrany a tím při citlivém nastavení stupně zabránit nadbytečné funkci. Dále pak vysoký podíl jalového proudu ve zhasínací síti a

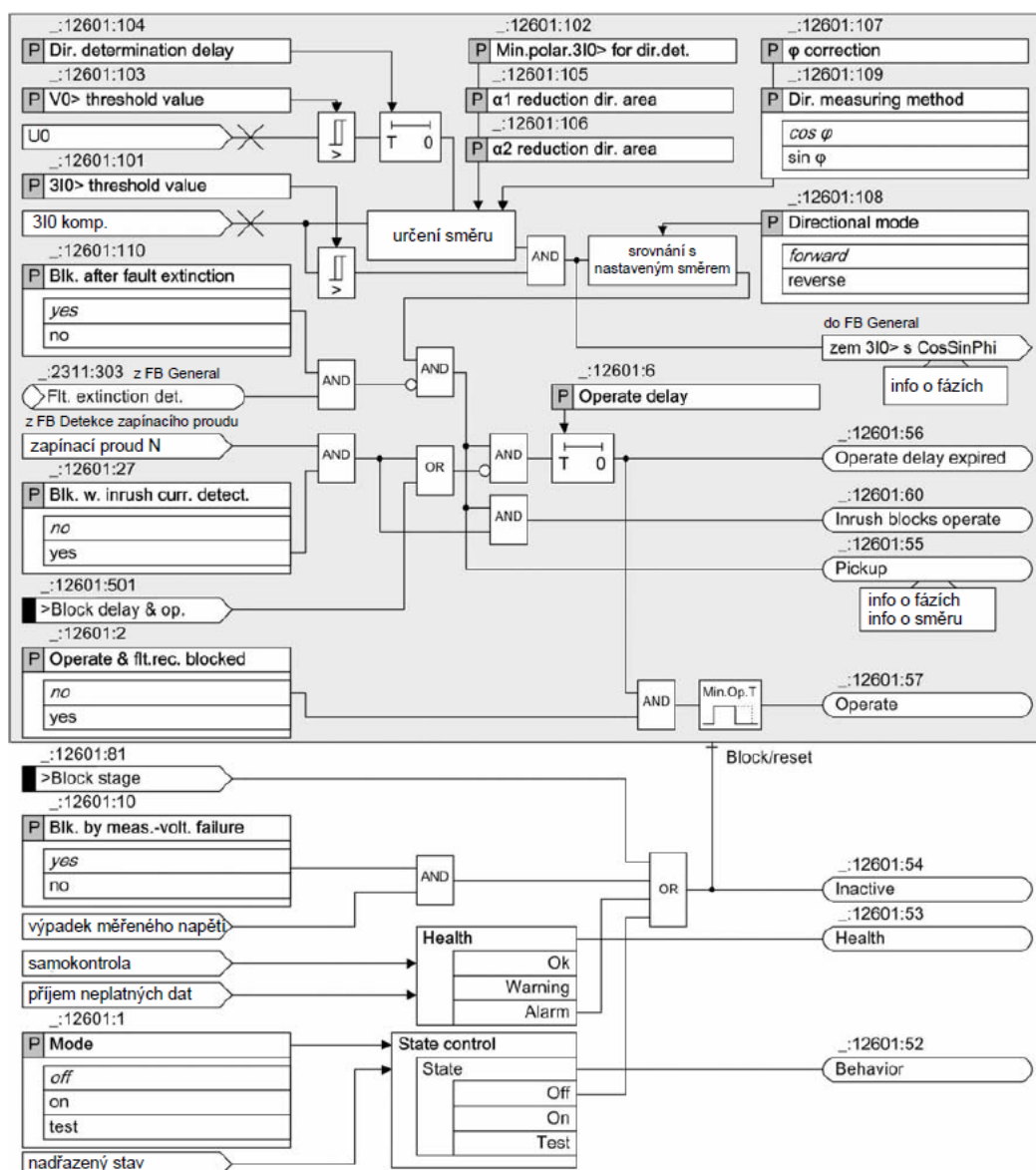


nevyhnutelná vzduchová mezera průvlekového transformátoru často vyžadují kompenzaci úhlové chyby průvlekového transformátoru. Také je zde možnost stabilizace proti spínacím dějům, které mohou vést k přechodným signálům v nulových složkách. [3]

#### Citlivá zemní ochrana slouží:

- Pro detekci zemních spojení v izolovaných nebo zhašených sítích.
- Pro detekci vysoko ohmových zemních zkratů v efektivně (tvrdě) nebo nízko ohmově (odporově) zemněných sítích.

Funkce je z výroby nakonfigurována s jedním nesměrovým stupněm  $3I_0$ . Uvnitř funkce můžeme současně provozovat 4 nesměrové stupně  $3I_0$ . [3]



Obr. 15 Logické schéma citlivé detekce zemního spojení [3]

## 3 Parametrizace ochrany pro typizované pole rozvodny

### 3.1 DIGSI 5

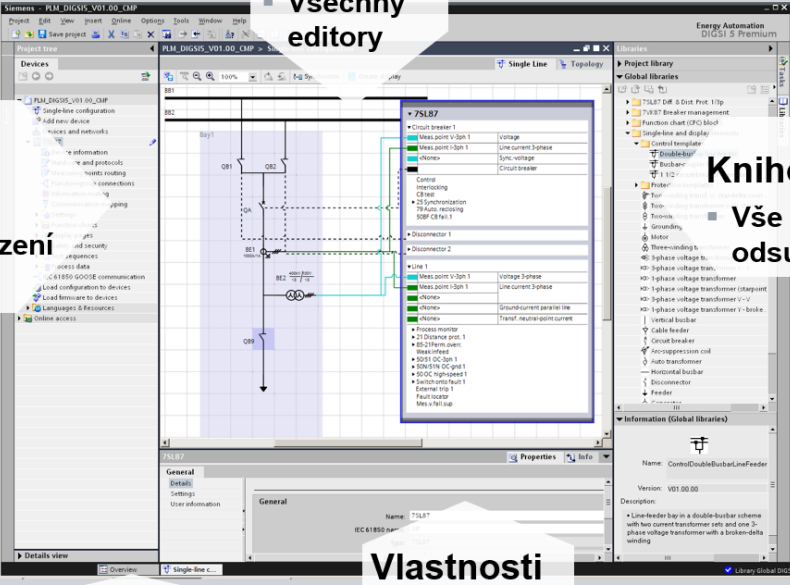
Parametrizace ochrany SIPROTEC 7SJ85 se provádí v programu DIGSI 5. Je to konfigurační a ovládací nástroj pro všechna zařízení SIPROTEC 5. S DIGSI 5 lze vytvořit systém topologii, konfigurace hardwaru a komunikačních sítí, nastavení ochranných funkcí a mnoho dalšího. Všechny konfigurace a nastavení lze provést bez nutnosti být připojen k zařízení SIPROTEC 5. Parametrizace se do ochrany může nahrát později.

Existují 3 různé varianty DIGSI 5:

- DIGSI 5 Compact – Pro jednoduché aplikace. Lze nastavit parametry, načtení procesních dat, obsahuje editor CFC.
- DIGSI 5 Standart – Má rozšířený rozsah funkcí. Obsahuje editor zobrazení, nabízí plnou podporu IEC 61850 včetně konfigurace systému.
- DIGSI 5 Premium – Obsahuje záznamy poruch, které lze analyzovat pomocí programu SIGRA, aj.

### Klíčové koncepty DIGSI 5

#### Struktura DIGSI 5



**Hlavní plocha**

- Všechny editory

**Strom projektu**

- Offline konfigurace
- Online dostupná zařízení

**Knihovny**

- Vše se přidává odsud

**Vlastnosti**

- Vlastnosti
- Informace

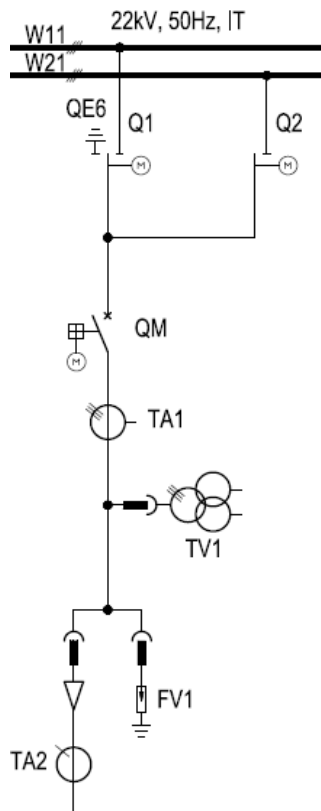
**Lišta oken**

- Otevřené editory

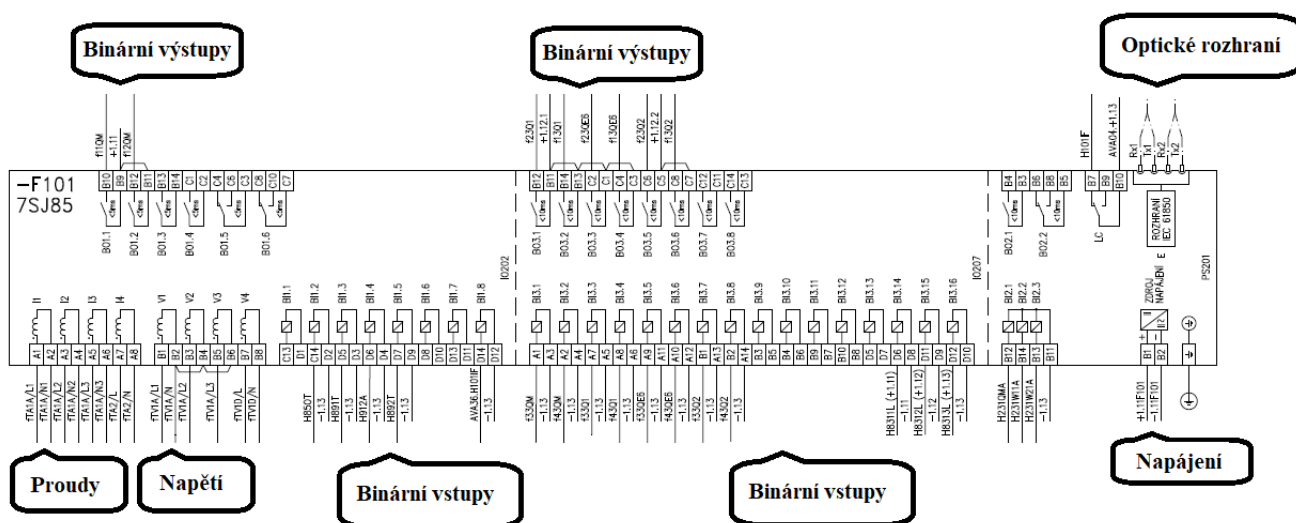
Obr. 16 Struktura DIGSI 5

### 3.2 Parametrizace ochrany

K parametrizaci ochrany v programu DIGSI 5 je zapotřebí mnoho technických podkladů jako jsou například výkresy, checklisty, blokové podmínky, nastavovací dopisy a další přání zákazníka. Pro tuto diplomovou práci je ochrana naparametrizována podle běžných standartu a s ochrannými funkcemi, které se běžně používají pro chránění vedení 22kV.



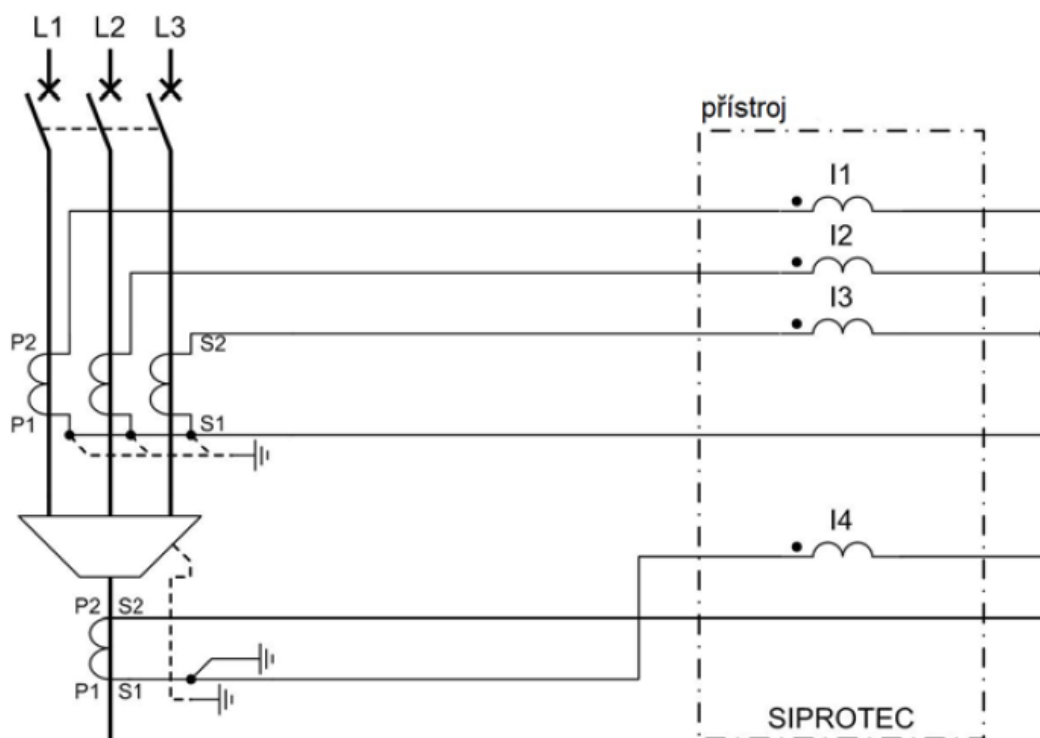
Obr. 17 Jednopolové schéma vývodu



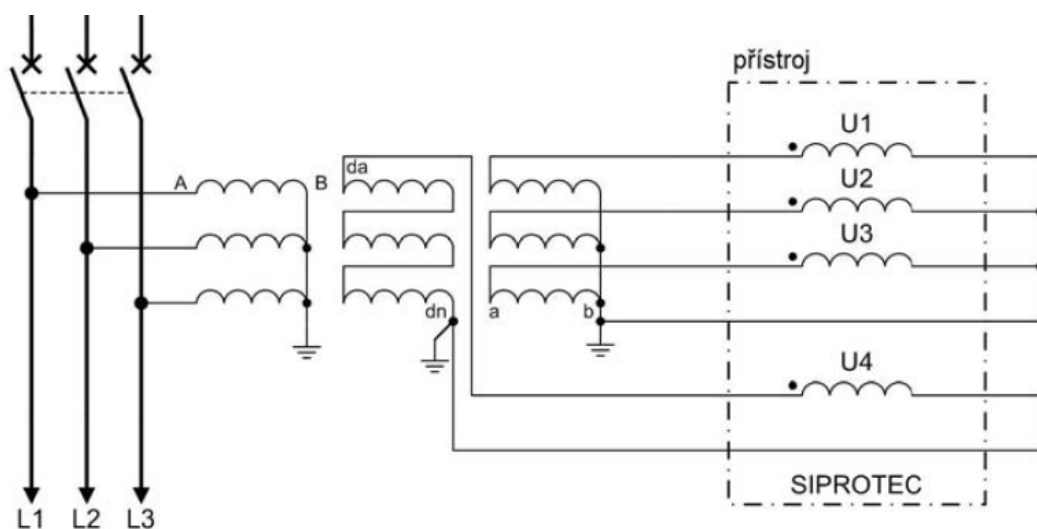
Obr. 18 Zapojení ochrany

### 3.2.1 Nastavení proudových a napětových vstupů

Přístrojové transformátory proudu a napětí lze připojit k ochraně několika způsoby. Záleží na tom, zda máme k dispozici například průvlekový transformátor proudu nebo u napětí měření z vinutí otevřeného trojúhelníku. Podle typu a zapojení přístrojových transformátorů proudů a napětí se nastaví měřící body v DIGSI 5.



Obr. 19 Zapojení 3f proudových transformátorů a průvlekového transformátorů



Obr. 20 Zapojení 3f napětových transformátorů zapojených do hvězdy a k vinutí otevřeného trojúhelníku

Current-measuring points				
Base module				
1A				
Measuring point	Connection type	IP 1A1	IP 1A2	IP 1A3
(All)	(All)	(All)	(All)	(All)
Meas.point I-3ph 1	3-phase + IN-separate	I A	I B	I C
Add new				

Voltage-measuring points				
Base module				
1B				
Measuring point	Connection type	V 1.1	V 1.2	V 1.3
(All)	(All)	(All)	(All)	(All)
Meas.point V-3ph 1	3 ph-to-gnd volt. + VN	V A	V B	V C
Add new				

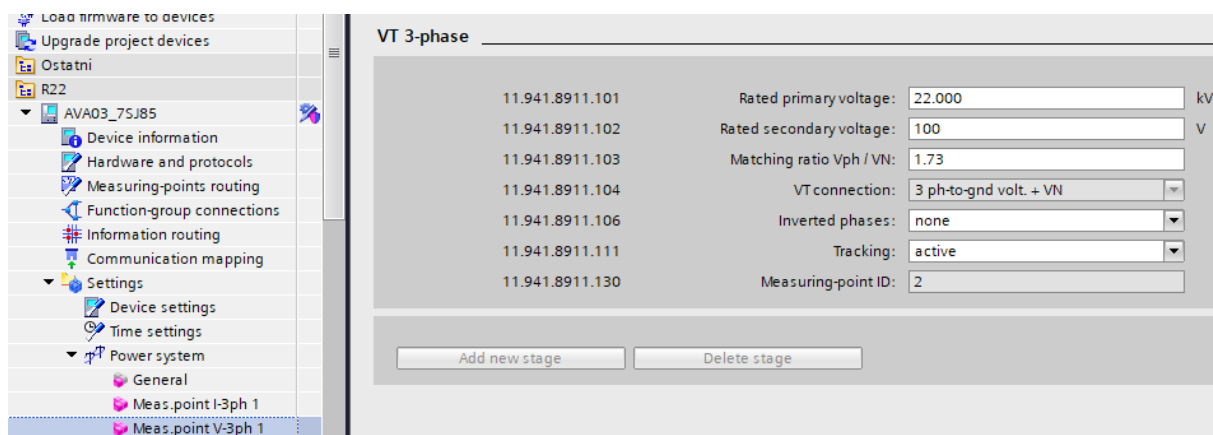
Obr. 21 Nastavení proudových a napěťových vstupů ochrany

Parametr *CT connection* ukazuje způsob zapojení proudových transformátorů. V tomto případě *3-phase +  $I_N$ separate*, což znamená, že zemní proud je měřený přes samostatný průvlekový transformátor proudů. Dále se nastaví jmenovité převody proudových transformátorů. Parametrem *neutr. point in dir. of ref. obj* se nastaví, ve kterém směru se nachází uzel proudových transformátorů (ve směru vedení, kabelu, transformátoru).

CT 3-phase	
General	
11.931.8881.115	CT connection: 3-phase + IN-separate
11.931.8881.127	Tracking: active
11.931.8881.130	Measuring-point ID: 1
CT phases	
11.931.8881.101	Rated primary current: 400.0 A
11.931.8881.102	Rated secondary current: 1 A
11.931.8881.117	Current range: 100 x IR
11.931.8881.118	Internal CT type: CT protection
11.931.8881.116	Neutr.point in dir.of ref.obj: no
11.931.8881.114	Inverted phases: none
CT IN	
11.931.8881.104	Rated primary current: 100.0 A
11.931.8881.105	Rated secondary current: 1 A
11.931.8881.119	Current range: 1.6 x IR
11.931.8881.120	Internal CT type: CT measurement

Obr. 22 Nastavení přístrojových transformátorů proudů

Parametr *VT connection* ukazuje způsob zapojení napěťových transformátorů. V tomto případě připojení ke 3 napěťovým transformátorům zapojených do hvězdy, a k vinutí otevřeného trojúhelníku. Dále se nastaví jmenovité hodnoty převodu napěťových transformátorů.

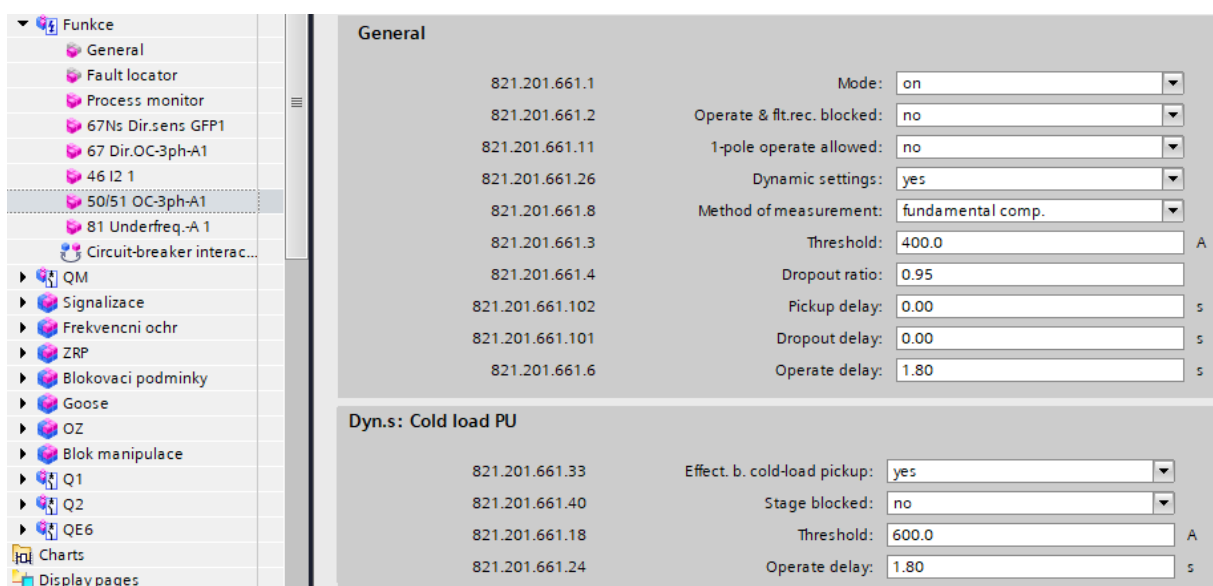


Obr. 23 Nastavení přístrojových transformátoru napětí

## 3.2.2 Nastavení ochranných funkcí

### 3.2.2.1 Nadproudová ochrana

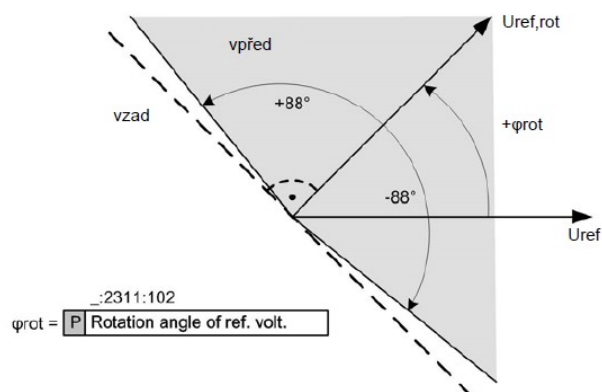
Parametrem *method of measurement – fundamental comp.* se určí ochraně, že má počítat jen se základní harmonickou. Při překročení nastavené hodnoty *threshold* a uplynutí doby *operate delay*, ochrana působí. Parametrem *Dynamic settings* se přidá nastavení pro zapnutí ze studeného stavu. Ochrana tedy, při vypnutém vypínači déle než 35 sekund, bude po dobu 1 sekundy pracovat s parametrou sadou *cold load PU*.



Obr. 24 Nastavení nadproudové ochrany

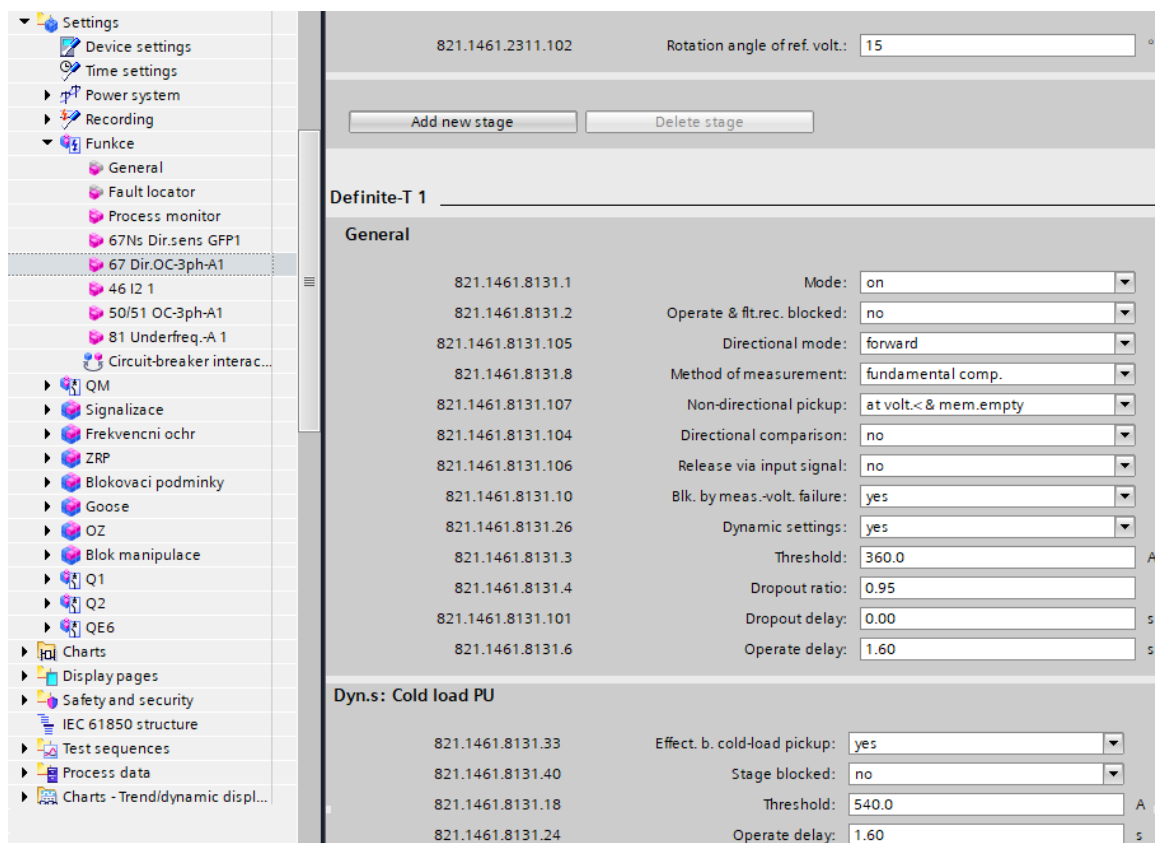
### 3.2.2.1 Směrová nadproudová ochrana

Jak již bylo uvedeno, směr se určuje na základě fázového úhlu mezi zkratovým proudem a referenčním napětím. Parametrem *Rotation angle of ref. volt.* lze referenční napětí otáčet o nastavený úhel.



Obr. 25 Určení směru [3]

Parametrem *directional mode* se určí směrový režim funkce. Překročením nastaveného *Threshold* a určení směru *forward* stupeň po uplynutí *operate delay* zapůsobí. I zde je povolený *dynamic settings* a ochrana, při vypnutém vypínači déle než 35 sekund, bude po dobu 1 sekundy pracovat s parametrovou sadou *cold load PU*.

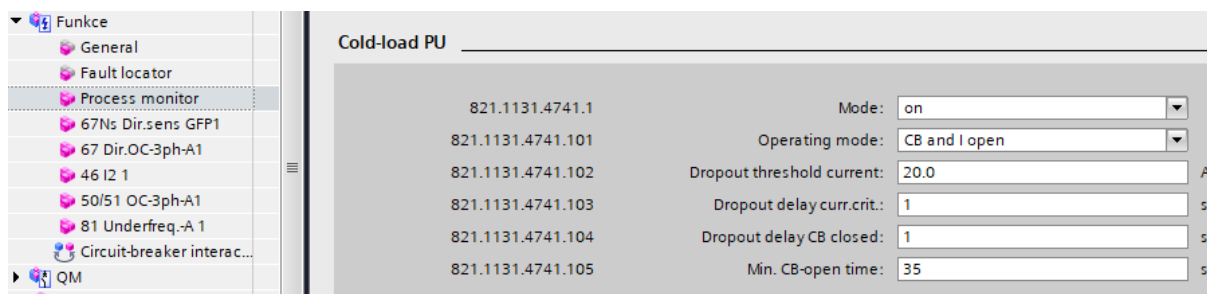


Obr. 26 Nastavení směrové nadproudové ochrany

### 3.2.2.2 Detekce zapnutí ze studeného stavu

Tato funkce zajišťuje, jestliže byl chráněný objekt určitý čas vypnutý, že po zapnutí pracuje po nastavený čas s jinými parametry.

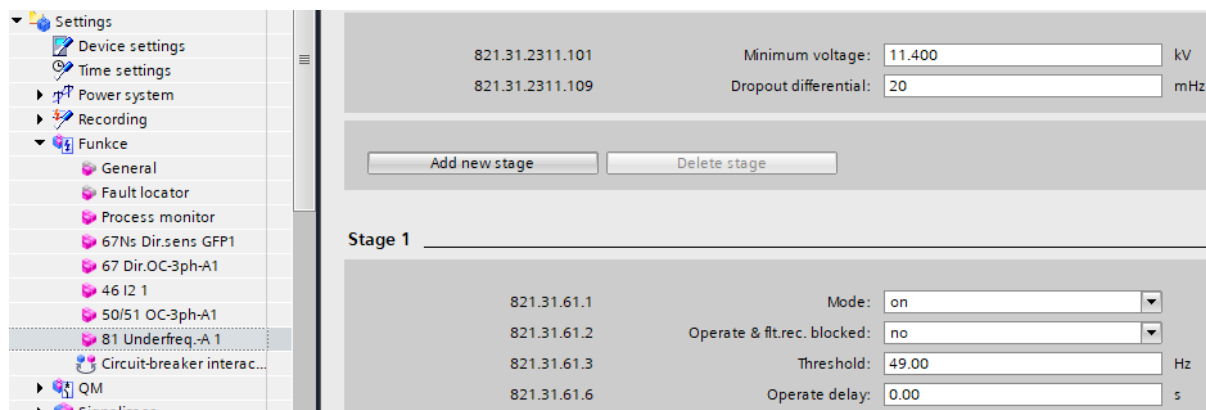
Parametrem *operating mode* se nastaví, podle jakého kritéria pracuje tento funkční blok. *CB and I open* znamená, že pokud nejsou splněny obě podmínky zároveň, je detekováno zapnutí. V tomto případě tedy, jestliže je vypínač vypnut déle než 35 sekund a neteče zde žádný proud, pak po dobu 1 sekundy po zapnutí pracuje ochrana s parametrovou sadou *cold-load*.



Obr. 27 Nastavení detekce zapnutí ze studeného stavu

### 3.2.2.3 Frekvenční ochrana

Parametr *minimum voltage* určuje, že pokud měřené napětí klesne pod tuto hodnotu, frekvenční ochrana se zablokuje, jelikož již není možné přesné měření hodnoty frekvence. V této parametrizaci, pokud hodnota frekvence klesne pod nastavených 49 Hz, ochrana v nulovém čase působí.



Obr. 28 Nastavení frekvenční ochrany

### 3.2.2.4 Automatika opětného zapnutí

Zvlášť pro každou ochrannou funkci se může nastavit spolupráce s automatikou opětného zapnutí. V této parametrizaci má na start automatiky opětného zapnutí vliv pouze směrová zkratová ochrana.



QM			
79 Auto. reclosing		Trip logic	
Protection group	Start auto.recl.	Blk. auto.recl.	Trip
(All)	(All)	(All)	(All)
67Ns Dir.sens GFP1			*
67 Dir.OC-3ph-A1	*		X
Definite-T 1			X
Definite-T 2	X		X
Inverse-T 1			X
46 I2 1			
Definite-T 1			
50/51 OC-3ph-A1			X
Definite-T 1			X
Definite-T 2			X
Inverse-T 1			X
81 Underfreq.-A 1			X
Stage 1			X

Obr. 29 Propojení funkcí, vypnutí a OZ

Parametr *79 operating mode* – *with op.*, *with act. time* znamená, že cykly OZ jsou závislé na vypínacím čase ochranné funkce přiřazené ke startu OZ. Po ručním zapnutí je automatika OZ ještě 20 sekund blokována parametrem *block. time aft. man. close*. Automatika OZ má nastavené dva cykly OZ s beznapětovou pauzou 0,8 sekund a 30 sekund.

- 67 Dir.OC-3ph-A1
- 46 I2 1
- 50/51 OC-3ph-A1
- 81 Underfreq.-A 1
- Circuit-breaker interac...
- QM
  - General
  - Trip logic
  - Circuit break.
  - Manual close
  - Control
  - CB test
  - 79 Auto. reclosing
- Signalizace
- Frekvencni ochr
- ZRP
- Blokovací podmínky
- Goose
- OZ
- Blok manipulace
- Q1
- Q2
- QE6
- Charts
- Display pages
- Safety and security
- IEC 61850 structure
- Test sequences
- Process data
- Charts - Trend/dynamic displ...

General

201.1361.6601.1

Mode: on

201.1361.6601.101

79 operating mode: with op., with act. time

201.1361.6601.102

CB ready check bef. start: no

201.1361.6601.103

Reclai. time aft.succ.cyc.: 20.00 s

201.1361.6601.104

Block. time aft. man.close: 20.00 s

201.1361.6601.105

Start signal supervis.time: 0.20 s

201.1361.6601.106

CB ready superv. time: 3.00 s

201.1361.6601.108

Evolving-fault detection: with trip

201.1361.6601.109

Response to evolv. faults: strt. evol.ftt.dead time

201.1361.6601.110

Max. dead-time delay: 0.50 s

201.1361.6601.111

Max. dead-time extension: 1.20 s

201.1361.6601.112

Send delay f. remot. close: 0.10 s

Cycle 1

201.1361.6571.112

Intern. synchrocheck with: No function block available

201.1361.6571.102

Start from idle state allow.: yes

201.1361.6571.103

Action time: 0.50 s

201.1361.6571.108

Dead time aft. 3-pole trip: 0.80 s

201.1361.6571.109

Dead time aft. evolv. fault: 0.80 s

201.1361.6571.111

CB ready check bef.close: no

201.1361.6571.110

Synchroch. aft. 3-pole d.t.: none

Cycle 2

201.1361.6572.112

Intern. synchrocheck with: No function block available

201.1361.6572.102

Start from idle state allow.: yes

201.1361.6572.103

Action time: 0.50 s

201.1361.6572.108

Dead time aft. 3-pole trip: 30.00 s

201.1361.6572.109

Dead time aft. evolv. fault: 30.00 s

201.1361.6572.111

CB ready check bef.close: no

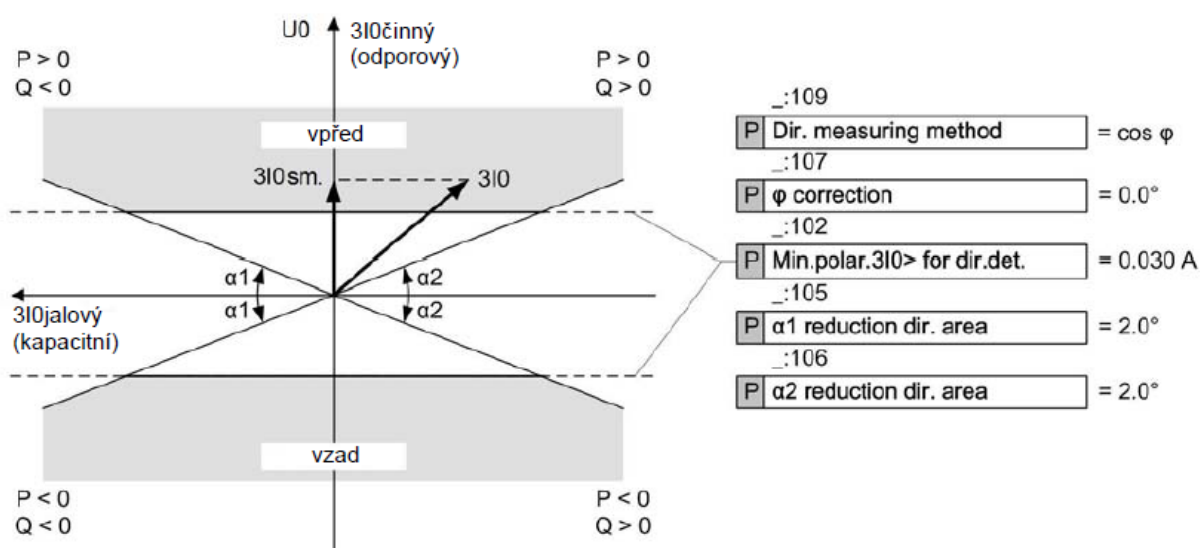
201.1361.6572.110

Synchroch. aft. 3-pole d.t.: none

Obr. 30 Nastavení automatiky opětného zapnutí

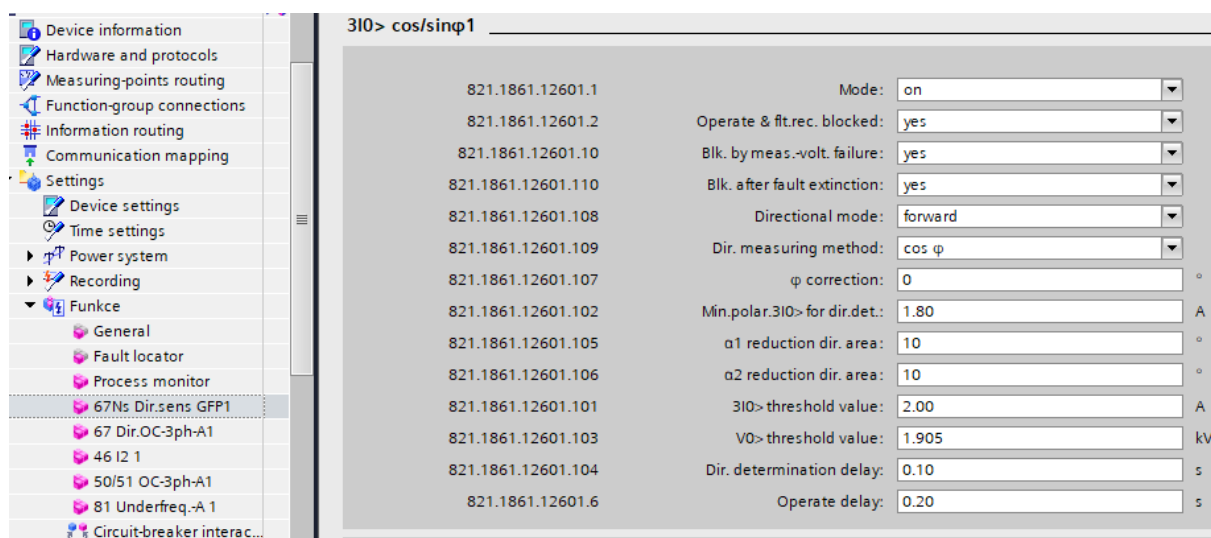
### 3.2.2.1 Citlivá detekce zemních spojení

Ochrana měří zbytkové napětí otevřeného trojúhelníku. Toto napětí je pak přepočteno na nulovou složku napětí  $U_0$ . Dále pak ochrana vyhodnocuje zemní proud  $3I_0$  citlivě měřený kabelovým průvlekovým transformátorem proudu. Ochrana detekuje zemní poruchu jen tehdy, jestliže velikost zemního proudu  $3I_0 >$  a velikost nulového napětí  $U_0 >$  překročí nastavenou mez. S překročením mezních hodnot se spustí určení směru a pokud výsledek souhlasí s nastaveným směrem, ochrana signalizuje zemní spojení.



Obr. 31 Určení směru zemního spojení [3]

Aby se dosáhlo stabilizovaných měřených hodnot, tak se parametrem *Dir. determination delay* může zpozdit určení směru oproti vzniku nulového napětí.



Obr. 32 Nastavení citlivé detekce zemního spojení

## 4 Návrh sekundárních zkoušek

Zkoušení, provoz a údržba ochran spolu úzce souvisí. K pravidelné činnosti provozovatele ochran patří jejich periodická revize. Při ní je nutné ochrany kontrolovat a zkoušet. Funkční zkoušky mají za úkol prověřit správnost algoritmu ochrany, tzn. její citlivost, selektivitu, rychlost, přesnost a správné nastavení ochrany. Rozlišujeme dva druhy zkoušek:

- **Primární** – Při této zkoušce je otestována nejen ochrana, ale také přístrojové transformátory proudu a napětí a další související zařízení jako jsou vypínače, odpojovače apod.
- **Sekundární** – Jedná se o nejčastěji prováděné zkoušky. Při sekundární zkoušce se testuje ochrana bez nutnosti připojení přístrojových transformátorů proudu a napětí. Lze tedy použít zdroj bez vysokých proudů a napětí, jelikož jmenovité hodnoty výstupů z PTP jsou 1 nebo 5 A, a u PTN pak 100 V.

### 4.1 Testovací zařízení Omicron CMC 156

Pro sekundární zkoušky ochran existuje celá řada zkušebních zařízení, např. jednofázový tester SVERKER 750, ARTES 460, FREJA 400 apod. Pro tuto diplomovou práci byl použit přístroj Omicron CMC 156, který se řídí přes PC pomocí programu Omicron Test Universe. Tímto přístrojem lze kromě testování ochran také testovat elektroměry a měřící převodníky v elektrických energetických systémech. OMICRON CMC 156 se vyznačuje vysokou přesností.



Obr. 33 Testovací zařízení Omicron CMC 156 [5]

#### 4.1.1 Proudové výstupy

Tři proudové výstupy jsou galvanicky oddělené od všech ostatních konektorů přístroje. Proudové zesilovače jsou provedeny jako lineární zesilovače se stejnosměrnou vazbou DC. Touto technologií jsou realizovatelné velmi kompaktní konstrukce s výborným činitelem nelinearity a

frekvenčním průběhem. Vazbou DC mohou být přesně simulovány libovolné přechodové děje nebo stejnosměrné posuny. [5]

#### **Rozsah proudových výstupů:**

- 3- fázově AC (L-N): 3x 0 – 12,5A
- 1- fázově AC (L-N): 1x 0 – 12,5A
- Paralelně: 1x 0 – 21A
- 1- fázově DC (L-N): 1x  $0 \pm 12,5A$

Proudové výstupy jsou chráněny proti chodu naprázdno, zkratům a přetížení. Mohou ale být zničeny napájením z cizích zdrojů. Při nadměrném oteplení chladiče dojde k tepelnému vypnutí všech výstupů. [5]

#### **4.1.2 Napěťové výstupy**

Tři napěťové výstupy a nulový vodič jsou galvanicky odděleny od všech dalších výstupů přístroje. Napěťové zesilovače jsou také, jako proudové zesilovače, provedeny jako lineární zesilovače s DC vazbou. [5]

#### **Rozsah napěťových výstupů:**

- 3- fázově AC (L-N): 3x 0 – 125V
- 1- fázově AC (L-L): 1x 0 – 250V
- 1- fázově DC (L-N): 1x  $0 \pm 125V$

Napěťové výstupy jsou chráněny proti chodu naprázdno, zkratům a přetížení. Při nadměrném oteplení chladiče dojde k tepelnému vypnutí všech výstupů. [5]

#### **4.1.3 Binární vstupy**

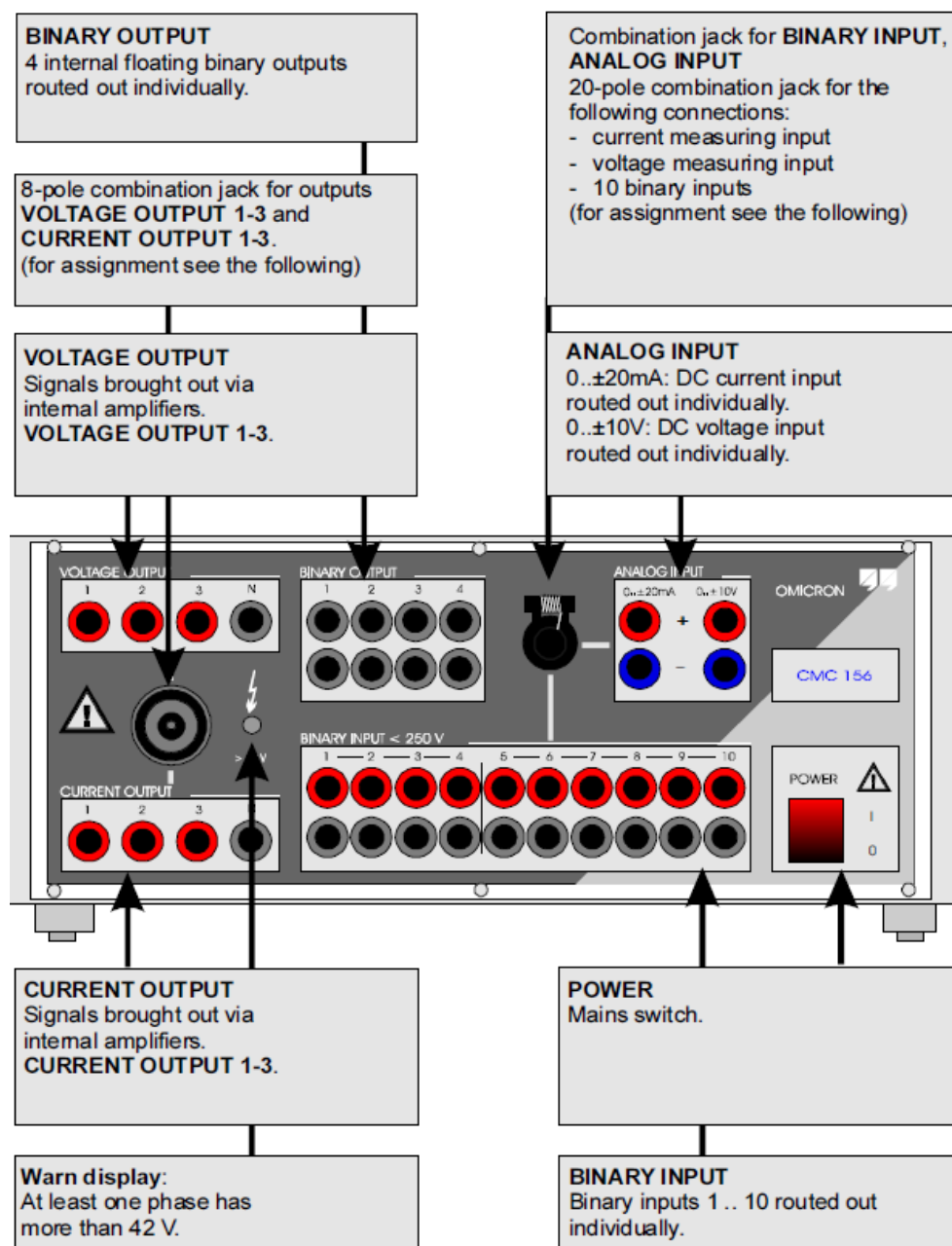
Celkem 10 binárních vstupů je rozděleno do dvou skupin, které jsou navzájem galvanicky oddělené. Binární vstupy jsou načítány oddělovacím zesilovačem se vzorkovací frekvencí 100  $\mu s$  a vyhodnocovány měřicí jednotkou. Tyto binární vstupy mohou fungovat s potenciálem, kdy se v programu Omicron Test Universe nastaví očekávané napětí a spínací mez. Tyto vstupy se rovněž mohou použít jako čítací vstupy s frekvencí až 3 kHz. [5]

#### **4.1.4 Binární výstupy**

Čtyři binární kontakty, které je možné použít jako bezpotenciální reléové kontakty. [5]

#### **4.1.5 Analogové vstupy**

Analogové proudové vstupy slouží k měření stejnosměrného proudu v rozsahu 0 – 20 mA. Analogové napěťové vstupy slouží k měření stejnosměrného napětí v rozsahu 0 – 10 V. Měřené hodnoty můžeme pak vyčíst v programu Omicron Test Universe. [5]



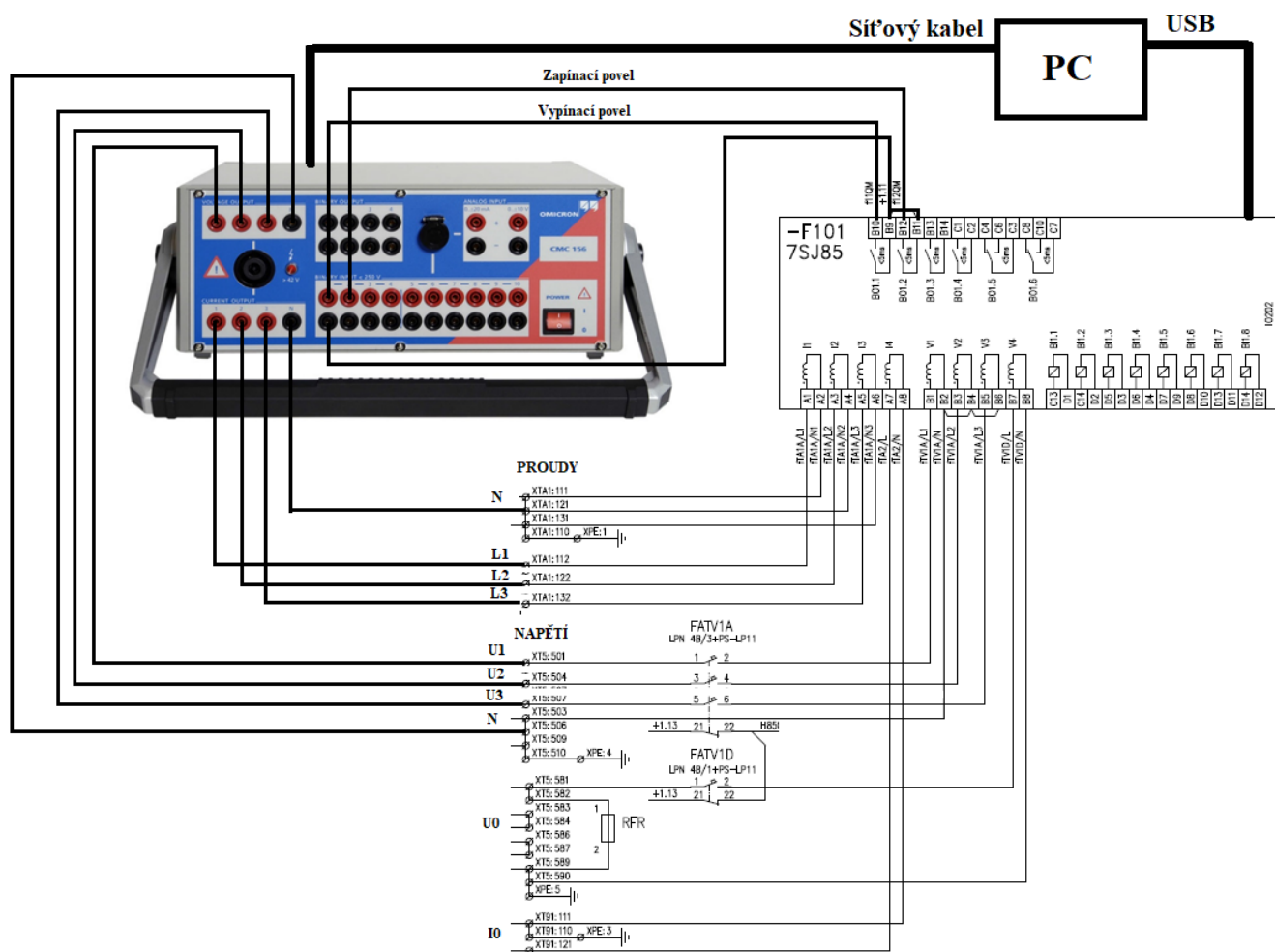
Obr. 34 Popis předního panelu CMC 156 [5]

Pro usnadnění připojení testovaného zařízení k Omicronu CMC 156 slouží společný konektor, který obsahuje tři proudové a tři napěťové výstupy.

## 4.2 Schéma zapojení ochrany a Omicronu

Zkušební zařízení Omicron se připojuje ke svorkovnicím v panelu ochran, které jsou připojeny k ochraně. Na proudovou svorkovnici jsou z Omicronu připojeny tři fáze proudu a nulový vodič. Stejně je to u svorkovnice napěťové, kde jsou zapojeny tři fáze napětí a nulový vodič. V ochraně jsou nakonfigurovány dva binární výstupy, které zapínají a vypínají vypínač. Tyto povely jsou přivedeny

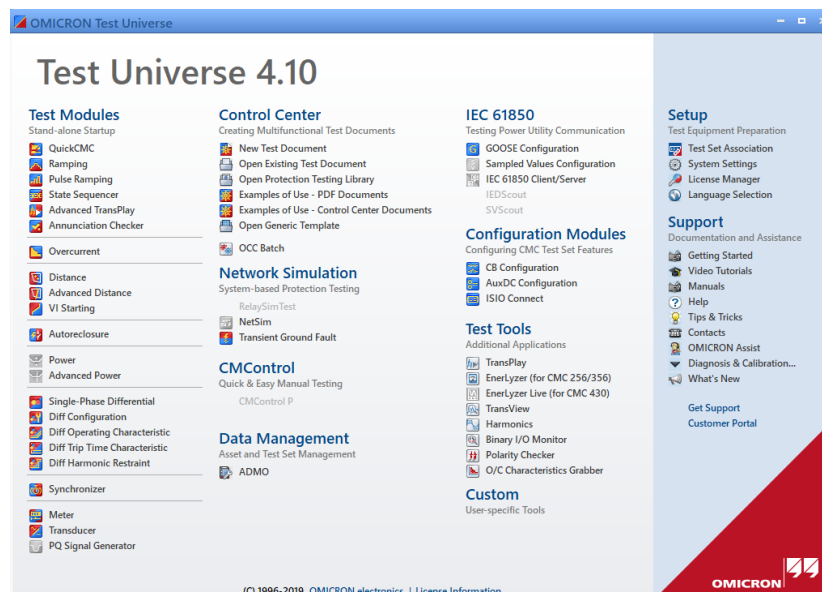
paralelně na binární vstupy Omicronu. Komunikace PC s Omicronem probíhá přes síťový kabel. Aby bylo možné stáhnout poruchové záznamy, případně sledovat měřené hodnoty v ochraně, je PC k ochraně připojeno pomocí USB kabelu.



Obr. 35 Schéma zapojení Omicronu a ochrany

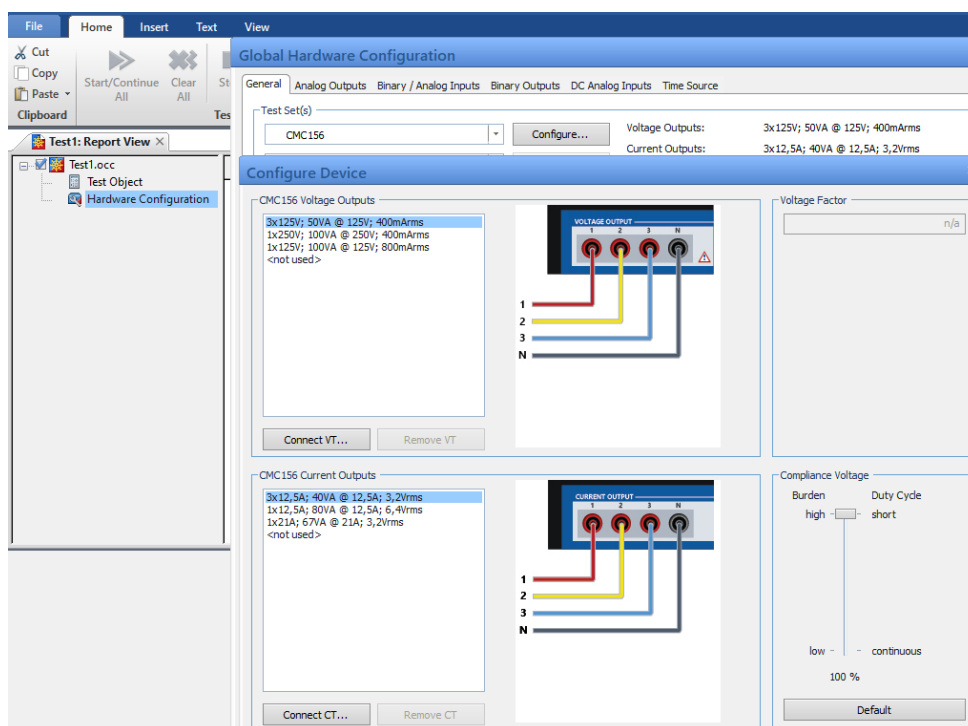
### 4.3 Základní nastavení programu Test Universe

Aby bylo možné ovládat zkušební zařízení Omicron CMC 156 je zapotřebí mít nainstalovaný program Test Universe. Po spuštění programu se kliknutím na *New Test Documents* vytvoří nový testovací dokument ve kterém se přidávají jednotlivé testovací moduly.



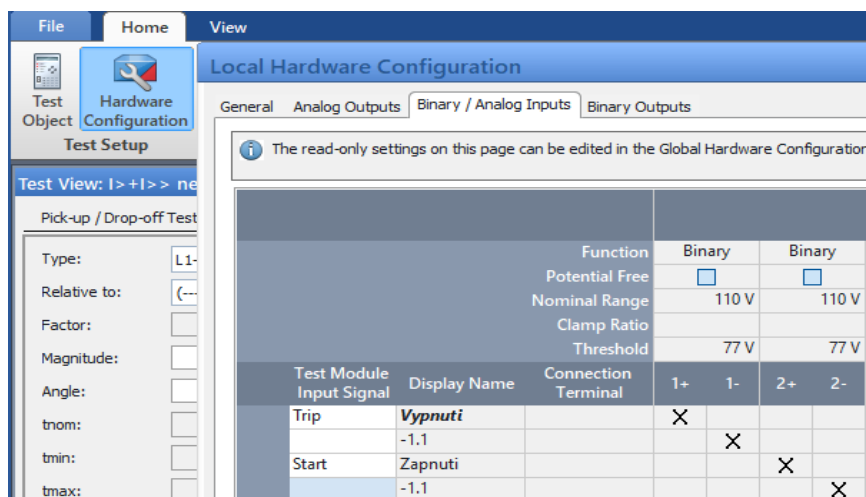
Obr. 36 Omicron Test Universe

V záložce *Hardware configuration - General* je zapotřebí nastavit, že Omicron bude pracovat se zapojením napětí 3x 125 V a proudů 3x 12,5A.



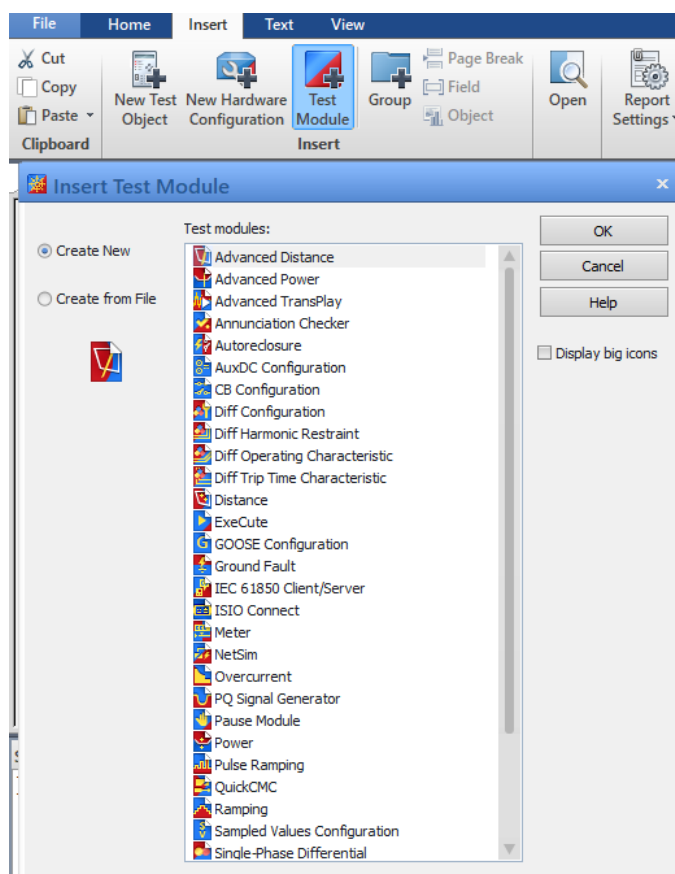
Obr. 37 Nastavení proudů a napětí Omicronu

Následně se v záložce *Binary / Analagon Inputs* nastaví, na které binární vstupy bude Omicron zaznamenávat povely z ochrany na vypínač a zda s potenciálem nebo bez. Toto nastavení pak platí pro všechny testovací moduly.



Obr. 38 Nastavení BI Omicronu

Jednotlivé testovací moduly se následně přidávají v záložce *Insert - + Test Module*



Obr. 39 Testovací moduly



## 4.4 Návrh sekundární zkoušky nadproudové ochrany

### 4.4.1 Úkol měření:

Ověřit správnost nastavení nesměrových nadproudových stupňů multifunkční nadproudové ochrany SIPROTEC 7SJ85.

### 4.4.2 Zadání:

1. Měřením zkontrolujte správnost nastavení prvního stupně nesměrové nadproudové ochrany (50/51 OC-3ph-A1 - Definite T1)
2. Měřením zkontrolujte správnost nastavení druhého stupně nesměrové nadproudové ochrany (50/51 OC-3ph-A1 - Definite T2)
3. Proveďte rozbor poruchového záznamu ochrany v programu SIGRA.

### 4.4.3 Zapojení

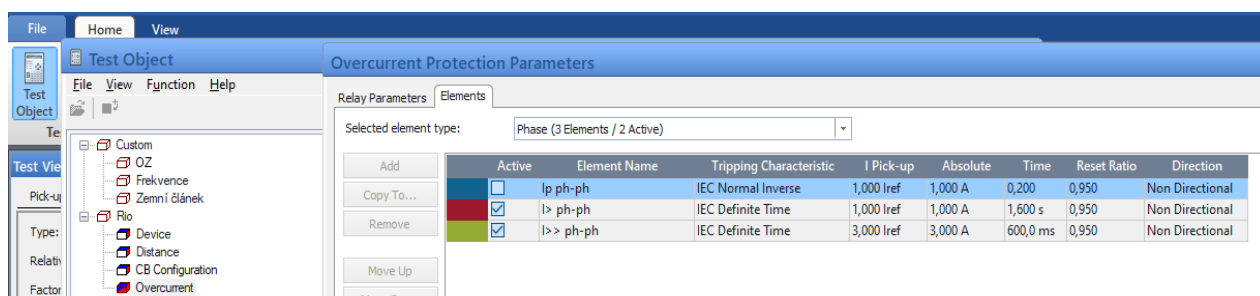
Zapojení je provedeno podle obrázku 35 - Schéma zapojení Omicronu a ochrany.

### 4.4.4 Teoretický rozbor

Modul nadproudové ochrany je základní ochrannou funkcí ochrany SIPROTEC 7SJ85. Tento modul slouží ke sledování velikosti elektrického proudu protékajícím chráněným úsekem a v případě, že tento proud překročí nastavenou hodnotu, dojde po nastaveném časovém zpoždění k vydání příkazu na vypnutí vypínače.

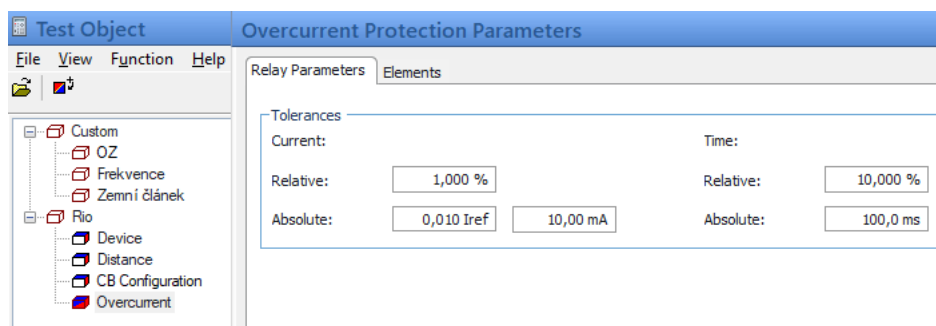
### 4.4.5 Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert Test Module* se vybere a přidá testovací modul *Overcurrent*.
2. V *Test Object* v záložce *Overcurrent – Elements* se nastaví vypínací hodnoty sekundárního proudu a čas působení pro jednotlivé stupně.



Obr. 40 Nastavení nadproudových stupňů

3. V záložce *Overcurrent – Relay Parameters* se nastaví tolerance proudu a času v absolutních a relativních hodnotách podle kterých bude program *Test Universe* následně vyhodnocovat zkoušku.



Obr. 41 Nastavení tolerance

4. Pro každou fázi zvlášť a pak pro třífázovou poruchu se vytvoří ucelená zkouška bod po bodu, kde se jako faktor pro jednotlivé stupně zvolí 0,9 ; 1,02 a 1,05. Program následně podle faktoru vypočítá nominální čas vypnutí a toleranci vypínacího času. Pokud bude vypínací čas v toleranci  $t_{min}$  až  $t_{max}$ , program *Test Universe* vyhodnotí zkoušku jako úspěšnou.

State	Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tmin	tmax	tact	Deviation
●	L1-E	I> ph-e	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L1-E	I> ph-e	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L1-E	I> ph-e	1,050	1,050 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L1-E	I>> ph-e	0,9000	2,700 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L1-E	I>> ph-e	1,020	3,060 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L1-E	I>> ph-e	1,050	3,150 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L2-E	I> ph-e	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L2-E	I> ph-e	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L2-E	I> ph-e	1,050	1,050 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L2-E	I>> ph-e	0,9000	2,700 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L2-E	I>> ph-e	1,020	3,060 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L2-E	I>> ph-e	1,050	3,150 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L3-E	I> ph-e	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L3-E	I> ph-e	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L3-E	I> ph-e	1,050	1,050 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L3-E	I>> ph-e	0,9000	2,700 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L3-E	I>> ph-e	1,020	3,060 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L3-E	I>> ph-e	1,050	3,150 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I> ph-ph	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,065	1,065 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I>> ph-ph	0,9709	2,913 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,029	3,088 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,088	3,264 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	Not tested	n/a

Obr. 42 Zkouška nadproudové ochrany

## 4.5 Návrh sekundární zkoušky směrové nadproudové ochrany

### 4.5.1 Úkol měření:

Ověřit správnost nastavení směrových nadproudových stupňů multifunkční nadproudové ochrany SIPROTEC 7SJ85.

### 4.5.2 Zadání:

1. Měřením zkontrolujte správnost nastavení prvního stupně směrové nadproudové ochrany (67 Dir OC-3ph-A1 - Definite T1)

2. Měřením zkontrolujte správnost nastavení druhého stupně směrové nadproudové ochrany (67 Dir OC-3ph-A1 - Definite T2)
3. Proved'te rozbor poruchového záznamu ochrany v programu SIGRA.

#### 4.5.3 Zapojení

Zapojení je provedeno podle obrázku 35 - Schéma zapojení Omicronu a ochrany.

#### 4.5.4 Teoretický rozbor

Modul směrové nadproudové ochrany se využívá k zajištění selektivity, jelikož ochrana působí pouze v jednom směru. Jakmile protékající proud překročí nastavenou hodnotu, ochrana spustí směrový článek. Jestliže směr poruchového proudu souhlasí s nastaveným směrem, dojde po nastaveném časovém zpoždění k vydání povelu na vypnutí vypínače.

#### 4.5.5 Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert Test Module* se vybere a přidá testovací modul *Overcurrent*.
2. V *Test Object* v záložce *Overcurrent – Elements* se nastaví vypínací hodnoty sekundárního proudu a čas působení pro jednotlivé stupně směrové nadproudové ochrany.
3. Vytvoří se ucelená zkouška bod po bodu pro jednotlivé fáze a třífázovou poruchu. Ve zkoušce je zapotřebí ještě nastavit úhel poruchového proudu tak, aby ochrana vyhodnotila poruchu ve směru chráněného objektu. V tomto případě -60 stupňů. Pokud bude vypínací čas v toleranci  $t_{\min}$  až  $t_{\max}$ , program *Test Universe* vyhodnotí zkoušku jako úspěšnou.

State	Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tmin	tmax	tact	Deviation
●	L1-E	I> ph-e	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L1-E	I> ph-e	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L1-E	I> ph-e	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L1-E	I>> ph-e	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L1-E	I>> ph-e	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L1-E	I>> ph-e	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L2-E	I> ph-e	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L2-E	I> ph-e	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L2-E	I> ph-e	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L2-E	I>> ph-e	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L2-E	I>> ph-e	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L2-E	I>> ph-e	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L3-E	I> ph-e	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L3-E	I> ph-e	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L3-E	I> ph-e	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L3-E	I>> ph-e	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L3-E	I>> ph-e	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L3-E	I>> ph-e	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I> ph-ph	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	No trip	No trip	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I>> ph-ph	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a
●	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	500,0 ms	Not tested	n/a

Obr. 43 Zkouška směrové nadproudové ochrany

## 4.6 Návrh sekundárních zkoušek zapnutí ze studeného stavu

### 4.6.1 Úkol měření:

Ověřit správnost nastavení zapnutí ze studeného stavu pro směrovou i nesměrovou nadproudovou ochranu SIPROTEC 7SJ85.

### 4.6.2 Zadání:

1. Měřením zkontrolujte správnost nastavení zapnutí ze studeného stavu pro první stupeň nesměrové nadproudové ochrany (50/51 OC-3ph-A1 - Definite T1)
2. Měřením zkontrolujte správnost nastavení zapnutí ze studeného stavu pro první stupeň směrové nadproudové ochrany (67 Dir OC-3ph-A1 - Definite T1)
3. Proveďte rozbor poruchového záznamu ochrany v programu SIGRA.

### 4.6.3 Zapojení

Zapojení je provedeno podle obrázku 35 - Schéma zapojení Omicronu a ochrany.

### 4.6.4 Teoretický rozbor

Tato funkce zajišťuje, pokud byl chráněný objekt určitý čas vypnutý, že po zapnutí pracuje po nastavený čas s jinými parametry nadproudových funkcí.

### 4.6.5 Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert Test Module* se vybere a přidá testovací modul *State sequencer*.
2. V záložce *States* se přidá *State 2* pomocí *State after*. V *State 1* se nastaví jmenovité napětí. V *State 2* se nastaví jmenovité napětí, proudy se nastaví nad mez prvního stupně nesměrové nadproudové ochrany ale zároveň pod mez nastaveného proudu u zapnutí ze studeného stavu.

File

Home

States

View

Copy

Paste

Clipboard

State Before

State After

Z Shot

Append State

Insert

Time Assessment

First

Previous

Next

Last

State Navigation

1

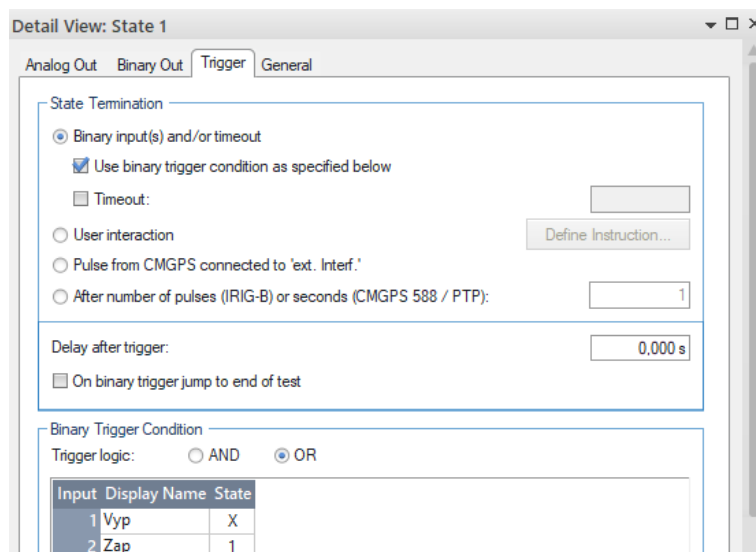
Delete

Table View:

	1			2		
Name	State 1			State 2		
V(I)-1	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
V(I)-2	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	-120,00 °	50,000 Hz
V(I)-3	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	57,74 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	1,400 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	1,400 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	1,400 A	120,00 °	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger	∞			3,000 s		

Obr. 44 State sequencer

3. Pro *State 1* je zapotřebí nastavit, aby se přepnul na *State 2*, jakmile binární vstup Omicronu zaznamená zapínací povel vypínače z ochrany.



Obr. 45 Nastavení State 1

4. Nyní se v *Time Assessment* nastaví čas vypnutí nesměrové nadproudové ochrany, ke kterému se připočte 1 sekunda. Nastaví se ignorace *State 1* a start od *State 2*. Zkouška se ukončí, jakmile přijde vypínací povel z ochrany na binární vstup Omicronu (Vyp 0→1). Dále se nastaví časová tolerance  $T_{dev} \pm 100$  ms. Pokud bude vypínací čas v toleranci  $\pm T_{dev}$ , program *Test Universe* vyhodnotí zkoušku jako úspěšnou.

Time Assessment										
	Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1		State 1	State 2	Vyp 0>1	2,600 s	100,0 ms	100,0 ms			

Obr. 46 Nastavení Time Assessments

## 4.7 Návrh sekundárních zkoušek frekvenční ochrany

### 4.7.1 Úkol měření:

Ověřit správnost nastavení podfrekvenční modulu multifunkční nadproudové ochrany SIPROTEC 7SJ85.

### 4.7.2 Zadání:

1. Měřením zkontrolujte správnost nastavení podfrekvenčního stupně frekvenční ochrany (81 Underfreq.-A1-State 1)
2. Proved'te rozbor poruchového záznamu ochrany v programu SIGRA.

### 4.7.3 Zapojení

Zapojení je provedeno podle obrázku 35 - Schéma zapojení Omicronu a ochrany.

### 4.7.4 Teoretický rozbor

Podfrekvence vzniká zvýšenou spotřebou činného výkonu nebo snížením vyráběného výkonu. Tyto stavy se vyskytují při oddělení sítí, výpadku generátoru nebo vadnou prací výkonové a frekvenční regulace. Tato ochranná funkce odlehčuje zátěž pro zabezpečení stability sítě.

#### 4.7.5 Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert Test Module* se vybere a přidá testovací modul *Ramping*.
2. V *Ramp states* se nastaví *Signal 1: All Signals* a *Quantity 1: Frequency*. Dále se nastaví u *Ramp 1*, že se bude snižovat frekvence od 49,5 Hz do 48,5 Hz. Krok snižování frekvence se nastaví na 50 mHz za 250 ms.

Ramp	From	To	Signal 1 Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	49,500 Hz	48,510 Hz	-50,000 mHz	250,0 ms	-200,0 mHz/s	21	5,250 s	Vyp 0->1

Obr. 47 Nastavení Ramp States

3. V *Ramp Assessments* se nastaví, že zkouška bude ukončena, jakmile přijde vypínací povel z ochrany na binární vstup Omicronu (Vyp 0→1). Dále se nastaví vypínací hodnota frekvence na 49 Hz a tolerance  $\pm 100$  mHz. Pokud bude vypínací frekvence v toleranci  $\pm Dev$ , program *Test Universe* vyhodnotí zkoušku jako úspěšnou.

Ramp Assessments: Frekvence F1 in AVB04_VN974 - Copy										
		Ramp Assessments								
	Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessment
1	State 1	Ramp 1	Vyp 0->1	All Signals	49,000 Hz	100,00 mHz	100,00 mHz			<input checked="" type="radio"/>

Obr. 48 Nastavení Ramp Assesments

## 4.8 Návrh sekundární zkoušky automatiky opětného zapnutí

### 4.8.1 Úkol měření:

Ověřit správnost nastavení automatiky opětného zapnutí multifunkční nadproudové ochrany SIPROTEC 7SJ85.

### 4.8.2 Zadání:

1. Měřením zkontrolujte správnost nastavení prvního cyklu automatiky opětného zapnutí (79 Auto. Reclosing - cycle 1)
2. Měřením zkontrolujte správnost nastavení druhého cyklu automatiky opětného zapnutí (79 Auto. Reclosing - cycle 2)
3. Proved'te rozbor poruchového záznamu ochrany v programu SIGRA.

### 4.8.3 Zapojení

Zapojení je provedeno podle obrázku 35 - Schéma zapojení Omicronu a ochrany.

#### 4.8.4 Teoretický rozbor

Funkce automatiky opětného zapnutí se využívá především u venkovních vedení, kde podle zkušeností zhasne po vypnutí ochranou asi 85 % obloukových zkratů. Vedení se tedy poté může opět zapnout. Na základě dlouhodobých zkušeností je první beznapěťová pauza nastavená na 0,8 s. Druhá beznapěťová pauza je nastavená na 30 s. Pokud ani po druhém pokusu o zapnutí porucha nezmizela, nastává konečné vypnutí.

#### 4.8.5 Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert Test Module* se vybere a přidá testovací *Autoreclosure*.
2. V záložce *Shot and Times* se zvolí třífázová porucha, nominální napětí a poruchový proud, který je větší než druhý stupeň směrové nadproudové ochrany.

Set Mode	Fault values		
Fault Type	L1-L2-L3		
V Fault	57,74 V	0,00 °	50,000 Hz
I Fault	3,100 A	-180,00 °	50,000 Hz
Angle(V-I)	180,00 °		

Obr. 49 Nastavení Shot and Times

3. V záložce *Unsuccessful Sequence* se nastaví dva cykly OZ. U každého cyklu se určí nominální čas vypnutí a čas beznapěťové pauzy. Tolerance pro úspěšnou zkoušku je nastavená  $\pm 100$  ms.

Cycle	Event	Assess Mode	Tnom	+/- Tdev	Tact	Result
1	Trip	Time	400,0 ms	100,0 ms	n/a	●
	Dead Time	Time	800,0 ms	100,0 ms	n/a	●
2	Trip	Time	400,0 ms	100,0 ms	n/a	●
	Dead Time	Time	30,00 s	100,0 ms	n/a	●
Final	3p-Trip	Time	400,0 ms	100,0 ms	n/a	●
	CB close	Not Expected	n/a	n/a	n/a	●

Obr. 50 OZ - Nastavení Unseccessful Sequence

4. V záložce *Assessment Settings* je zapotřebí ještě nastavit od kterých vstupních signálů se bude počítat beznapěťová pauza, zapnutí a vypnutí.

Assessment	Start Event	Stop Event
1 Dead Time	Vyp 0 > 1	Zap 0 > 1
2 CB close	Zap 0 > 1	Zap 1 > 0
3 Trip	Fault	Vyp 0 > 1

Obr. 51 OZ - Nastavení Assessment Settings

## 4.9 Návrh sekundární zkoušky citlivé detekce zemních spojení

### 4.9.1 Úkol měření:

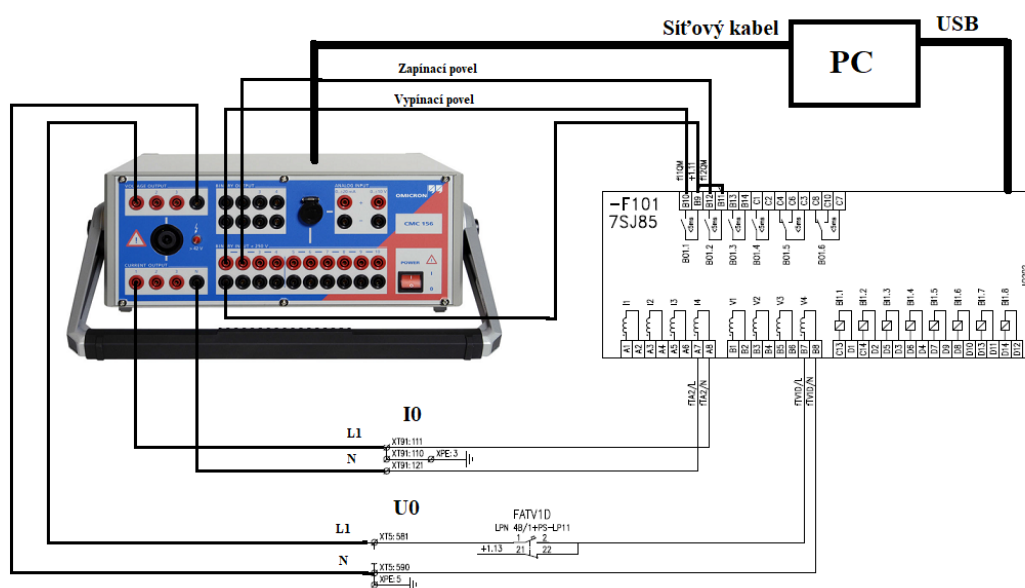
Ověřit správnost nastavení citlivé detekce zemních spojení multifunkční nadproudové ochrany SIPROTEC 7SJ85.

### 4.9.2 Zadání

1. Měřením zkontrolujte správnost nastavení a směrnost citlivé detekce zemního spojení (67Ns Dir.sens GFP1)
2. Proveďte rozbor poruchového záznamu ochrany v programu SIGRA.

### 4.9.3 Zapojení

Jelikož ochranný modul citlivé detekce zemního spojení využívá citlivě měřený zemní proud z kabelového průvlekového transformátoru, který je zapojen na čtvrtý proudový článek I4 a napětí  $U_0$ , které získáváme z měření vinutí PTN otevřeného trojúhelníku, které je zapojeno na čtvrtý napěťový článek V4, musí se Omicron zapojit podle následujícího schématu.



Obr. 52 Schéma zapojení pro citlivou detekci zemního spojení

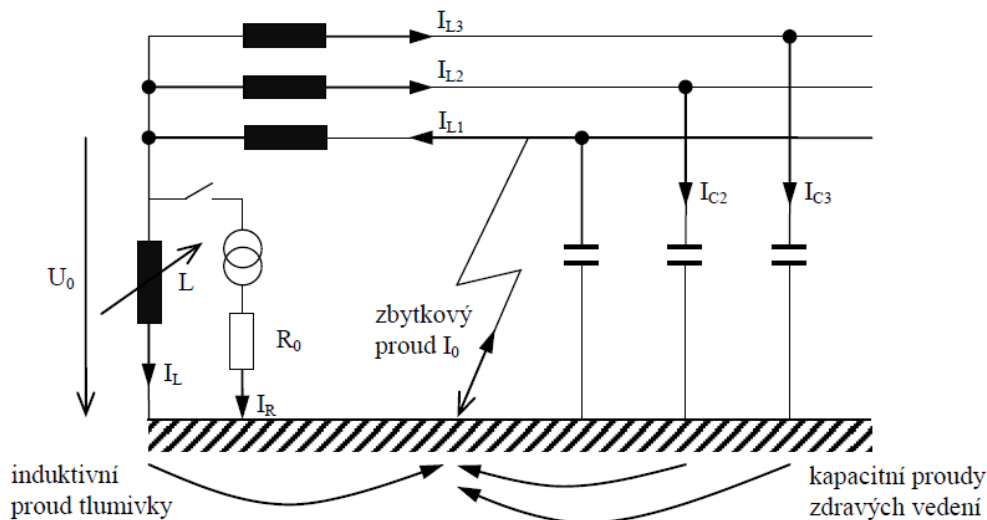
### 4.9.4 Teoretický rozbor

Zemní spojení je specifický druh poruchy, která může vzniknout v izolovaných sítích nebo v sítích, kde je uzel transformátoru uzemněn přes velkou impedanci. V České republice bývají takto provozována vedení VN. Jednopolová porucha v takové síti nepředstavuje zkrat, ale zemní spojení.

V případě zemního spojení tlumivka kompenzuje kapacitní proudy sítě a následně poruchovým místem teče pouze malý zbytkový proud  $I_0$ , který nemusí být dostatečně velký, aby zapříčinil náběh zemní ochrany. Z tohoto důvodu se na krátkou dobu připíná k tlumivce paralelní odporník, který do obvodu vnutí činný proud, tekoucí pouze postiženou fází a zároveň způsobí natočení zbytkového proudu a tím dojde ke zmenšení úhlu mezi  $U_0$  a  $I_0$ . [7]



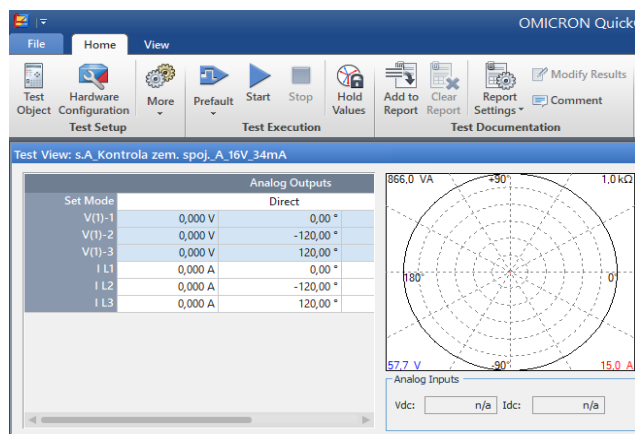
Jelikož při sekundárních zkouškách je v podstatě nemožné nasimulovat provozní podmínky při zemním spojení, bude toto kontrolní měření zaměřeno na ověření správného principu fungování a směřování tohoto modulu. Správné směřování zemní ochrany se pak provádí primární zkouškou zemního spojení v rozvodně.



Obr. 53 Zemní spojení

#### 4.9.5 Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert Test Module* se vybere a přidá testovací modul *QuickCMC*. Protože zemní směrová ochrana nevypíná vypínač, ale pouze signalizuje, binární vstupy Omicronu nezaznamenají poruchu. Zemní spojení ochrana signalizuje pouze tehdy, pokud proud  $I_0$  a zároveň napětí  $U_0$  překročí svou nastavenou hodnotu a ochrana vyhodnotí nastavený směr.
2. V *QuickCMC* se nastaví napětí  $U_0$  nad nastavenou mez v parametrizaci a zkontroluje se, že ochrana nesignalizuje zemní spojení.
3. V *QuickCMC* se nastaví proud  $I_0$  nad nastavenou mez v parametrizaci a zkontroluje se, že ochrana nesignalizuje zemní spojení.
4. Nastaví se proud  $I_0$  i napětí  $U_0$  a bude se měnit jejich fázový posuv. Ochrana musí signalizovat zemní spojení pouze v jednom směru.



Obr. 54 QuickCMC

## 5 Praktické provedení sekundárních zkoušek na rozvodně

Před uvedením ochrany do provozu je nutné provést sekundární zkoušky dané ochrany. Je zapotřebí, aby se ověřila správnost parametrizace, nastavení ochranných modulů, komunikace aj.



Obr. 55 Zapojení Omicronu a ochrany

### Použité přístroje:

#### **Ochrana SIPROTEC 7SJ85:**

- Objednávací kód MLFB: 7SJ85-DAAA-AA0-0AAAA0-AL0112-23111B-BAA000-000AC0-CB2BA1-CG0
- Konfigurační verze: DIGSI 5 V7.90
- Výrobní číslo: BM1910004059

#### **Omicron CMC 156:**

- Program Test Universe V4.10

#### **Notebook Fujitsu**

## 5.1 Sekundární zkouška nadproudové ochrany

Binární výstupy z ochrany, které jsou naprogramovány na ovládání vypínače, se připojí paralelně na binární vstupy do Omicronu. V panelu ochran se připojí na svorkovnici napětí a proudu příslušné vodiče z Omicronu. Musí se dát pozor na to, že napěťová svorkovnice musí být rozpojená, aby se z Omicronu nepouštělo žádné napětí do napěťových měničů, které by mohli být ke svorkovnici připojené. U proudové svorkovnice, je nutné zkontrolovat, že je správná uzavřenost proudů. Po zapojení Omicronu k ochraně se spustí program *Test Universe* a otevře se vytvořený testovací dokument a v něm připravená zkouška nesměrové nadproudové ochrany. Test se následně spustí klávesou F5.

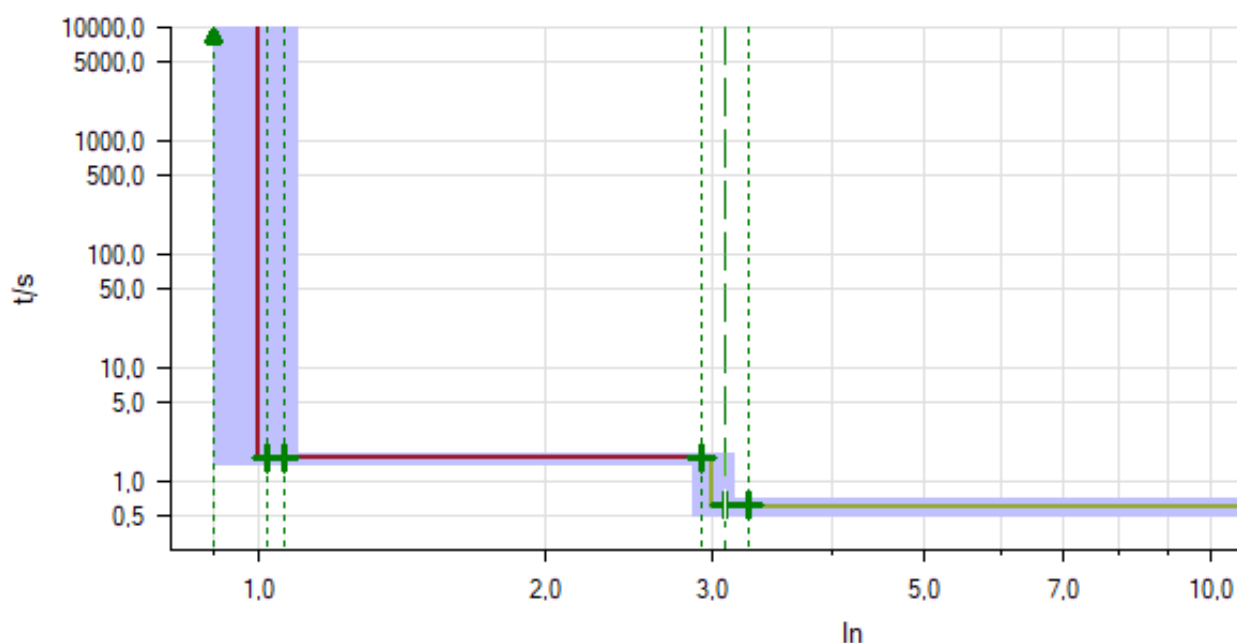
### 5.1.1 Naměřené hodnoty

Test postupně vyzkouší jednotlivé řádky, které jsou ve zkoušce vytvořené a ihned je i vyhodnocuje. V následujícím obrázku lze vidět, že ochrana při faktoru 0,9 u prvního stupně  $I>$  nepůsobí a u faktoru 1,02 a 1,05 již působí v nastaveném čase 1,6 sekundy. Při faktoru 0,9 u druhého stupně  $I>>$  ochrana správně působí s časem prvního stupně  $I>$  a u faktoru 1,02 a 1,05 již působí s časem druhého stupně  $I>>$ . Ve sloupci *tact* lze vidět, že čas působení je od nominálního času vypnutí opožděn průměrně o 20ms. Je to zapříčiněno především vlivem rychlosti ochrany rozeznat poruchu, dále pak binárních výstupu ochrany a binárních vstupu Omicronu. Sloupec *Deviation* nám v procentech ukazuje, o kolik se lišil vypínací čas od nominálního času vypnutí. V průměru byl tento rozdíl okolo 2 %.

State	Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tmin	tmax	tact	Deviation
✓	L1-E	I> ph-e	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	1,440 s	No trip	No trip	n/a
✓	L1-E	I> ph-e	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,622 s	1,387 %
✓	L1-E	I> ph-e	1,050	1,050 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,628 s	1,725 %
✓	L1-E	I>> ph-e	0,9000	2,700 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	1,611 s	0,7062 %
✓	L1-E	I>> ph-e	1,020	3,060 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	621,8 ms	3,633 %
✓	L1-E	I>> ph-e	1,050	3,150 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	623,2 ms	3,867 %
✓	L2-E	I> ph-e	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	1,440 s	No trip	No trip	n/a
✓	L2-E	I> ph-e	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,631 s	1,906 %
✓	L2-E	I> ph-e	1,050	1,050 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,623 s	1,431 %
✓	L2-E	I>> ph-e	0,9000	2,700 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	1,619 s	1,188 %
✓	L2-E	I>> ph-e	1,020	3,060 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	624,2 ms	4,033 %
✓	L2-E	I>> ph-e	1,050	3,150 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	621,3 ms	3,55 %
✓	L3-E	I> ph-e	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	1,440 s	No trip	No trip	n/a
✓	L3-E	I> ph-e	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,626 s	1,644 %
✓	L3-E	I> ph-e	1,050	1,050 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,624 s	1,488 %
✓	L3-E	I>> ph-e	0,9000	2,700 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	1,760 s	1,617 s	1,056 %
✓	L3-E	I>> ph-e	1,020	3,060 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	628,4 ms	4,733 %
✓	L3-E	I>> ph-e	1,050	3,150 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	620,7 ms	3,45 %
✓	L1-L2-L3	I> ph-ph	0,9000	0,900 In	180,00 °	No trip	1,440 s	No trip	No trip	n/a
✓	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,020	1,020 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,625 s	1,556 %
✓	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,065	1,065 In	180,00 °	1,600 s	1,440 s	No trip	1,630 s	1,869 %
✓	L1-L2-L3	I>> ph-ph	0,9709	2,913 In	180,00 °	1,600 s	500,0 ms	1,760 s	1,612 s	0,7438 %
✓	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,029	3,088 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	1,760 s	622,9 ms	3,817 %
✓	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,088	3,264 In	180,00 °	600,0 ms	500,0 ms	700,0 ms	629,0 ms	4,833 %

Obr. 56 Zkouška nesměrové nadproudové ochrany - naměřené hodnoty

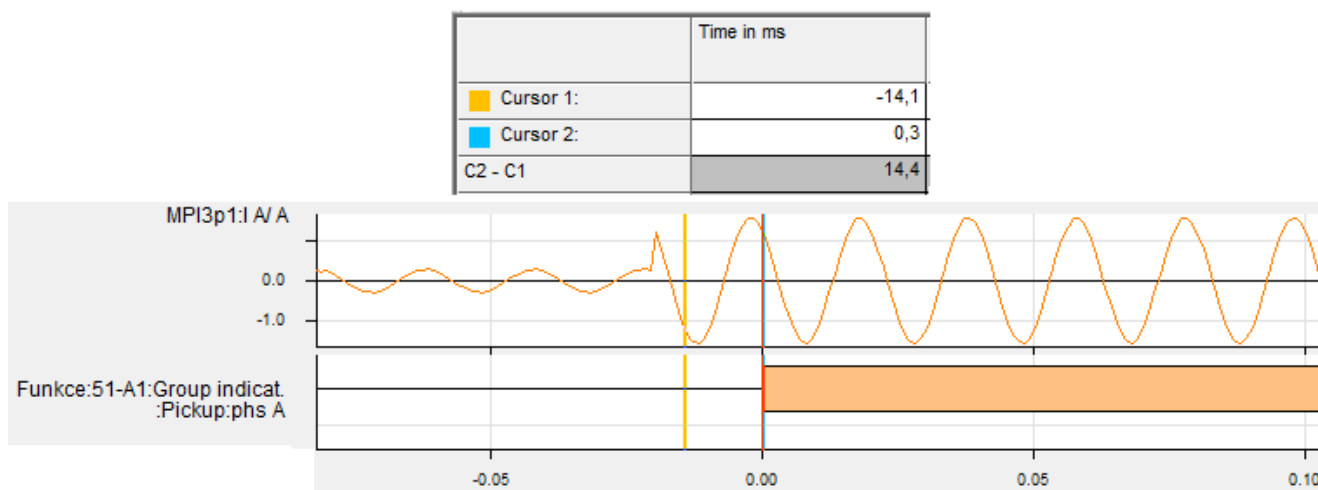
Test, na základě nastavených tolerancí, proběhl ve všech bodech úspěšně a program *Test Universe* následně vykreslí vypínací charakteristiku, kterou lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 57 Vypínací charakteristika nesměrové nadproudové ochrany

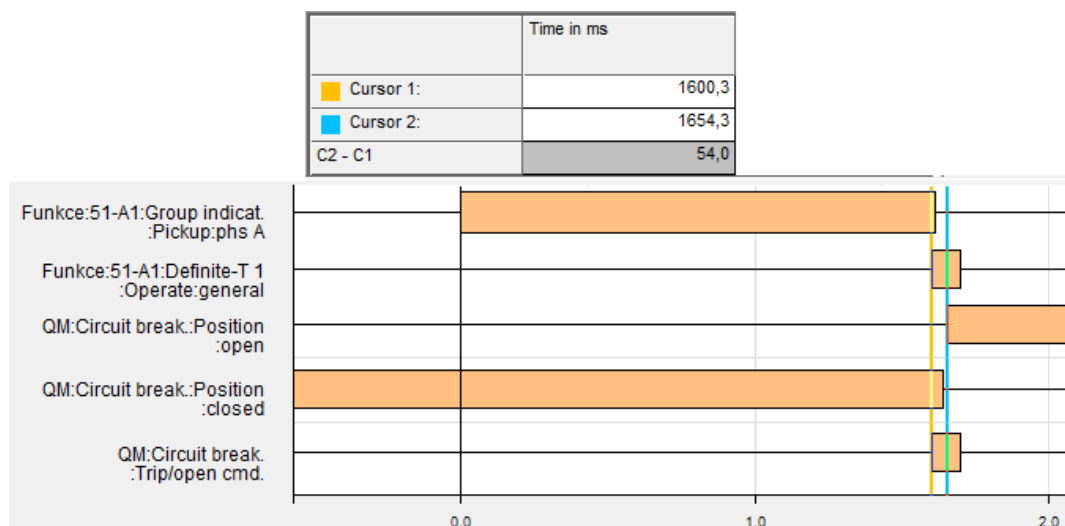
### 5.1.2 Rozbor v programu SIGRA

V grafu popudu nadproudu lze vyčíst, že od překročení nastavené hodnoty prvního stupně nadproudové ochrany, až po vydání popudu ochrany uplynulo pouhých 14,4 ms. Neuplyne tedy ani jedna celá perioda poruchového proudu a ochrana již bezpečně signalizuje poruchu.



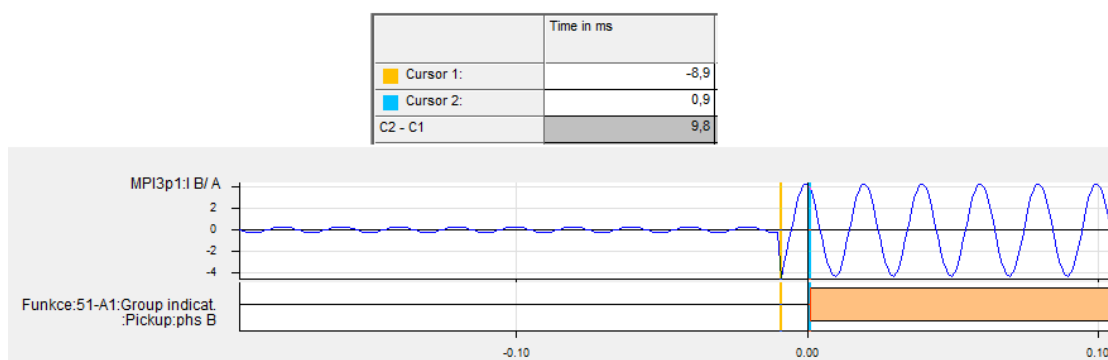
Obr. 58 Popud nadproudu ve fázi A

Od vydání popudu se rozbíhá časový člen, který po uplynutí nastavených 1,6 sekund vydává povel na vypnutí vypínače. Od vydání povelu na vypnutí vypínače, až po zpětnou hlášku – vypínač vypnuto uplyne 54 ms. Tento čas je v podstatě součet času sepnutí binárního výstupu z ochrany, samotného vypnutí vypínače a rychlost binárního vstupu ochrany o stavu vypínače vypnuto.



Obr. 59 Popud a působení ochrany

Čas popudu nadproudové ochrany u zkratu je ještě o několik milisekund rychlejší a to 9,8 ms. Po vydání popudu se opět spustí časový člen a po uplynutí nastavených 0,6 sekund ochrana vydává povel na vypnutí. Vypnutí vypínače trvá opět 54 ms.



Obr. 60 Popud ve fázi B při zkratu

## 5.2 Sekundární zkouška směrové nadproudové ochrany

Sekundární zkouška směrové nadproudové ochrany probíhá stejně jako zkouška nesměrová. Ve vytvořeném testovacím dokumentu se spustí připravená zkouška směrové nadproudové ochrany a test se spustí klávesou F5.

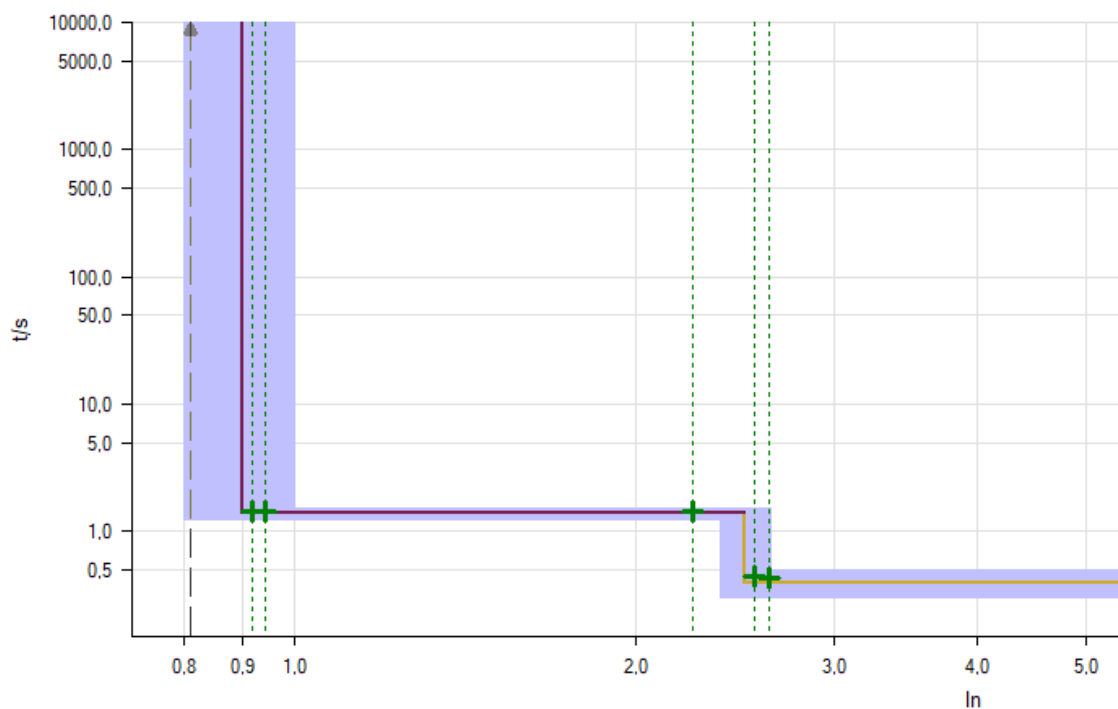
### 5.2.1 Naměřené hodnoty

Následující obrázek opět ukazuje, že ochrana při faktoru 0,9 u prvního směrového stupně I> nepůsobí. U faktoru 1,02 a 1,05 již působí v nastaveném čase prvního stupně. Při faktoru 0,9 u druhého směrového stupně I>> ochrana správně působí s časem prvního směrového stupně a u faktoru 1,02 a 1,05 již působí s časem druhého směrového stupně. Sloupec *tact* ukazuje, že čas působení je od nominálního času vypnutí opožděn v průměru o 30 ms. Je to zapříčiněno vlivem rychlosti ochrany rozeznat poruchu, následné určení směru, rychlosti binárních výstupu ochrany a binárních vstupu Omicronu. Sloupec *Deviation* nám v procentech ukazuje, o kolik se lišil vypínací čas od nominálního času vypnutí. V průměru byl tento rozdíl okolo 4,5 %.

State	Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tmin	tmax	tact	Deviation
✓	L1-E	I> ph-e	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	1,260 s	No trip	No trip	n/a
✓	L1-E	I> ph-e	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,436 s	2,536 %
✓	L1-E	I> ph-e	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,441 s	2,95 %
✓	L1-E	I>> ph-e	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	1,422 s	1,593 %
✓	L1-E	I>> ph-e	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	438,5 ms	9,625 %
✓	L1-E	I>> ph-e	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	434,3 ms	8,575 %
✓	L2-E	I> ph-e	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	1,260 s	No trip	No trip	n/a
✓	L2-E	I> ph-e	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,435 s	2,5 %
✓	L2-E	I> ph-e	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,440 s	2,821 %
✓	L2-E	I>> ph-e	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	1,425 s	1,807 %
✓	L2-E	I>> ph-e	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	437,3 ms	9,325 %
✓	L2-E	I>> ph-e	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	433,0 ms	8,25 %
✓	L3-E	I> ph-e	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	1,260 s	No trip	No trip	n/a
✓	L3-E	I> ph-e	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,438 s	2,707 %
✓	L3-E	I> ph-e	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,439 s	2,764 %
✓	L3-E	I>> ph-e	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	1,426 s	1,829 %
✓	L3-E	I>> ph-e	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	435,1 ms	8,775 %
✓	L3-E	I>> ph-e	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	435,3 ms	8,825 %
✓	L1-L2-L3	I> ph-ph	0,9000	0,810 In	-60,00 °	No trip	1,260 s	No trip	No trip	n/a
✓	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,020	0,918 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,438 s	2,693 %
✓	L1-L2-L3	I> ph-ph	1,050	0,945 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	No trip	1,434 s	2,443 %
✓	L1-L2-L3	I>> ph-ph	0,9000	2,250 In	-60,00 °	1,400 s	1,260 s	1,540 s	1,428 s	2,007 %
✓	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,020	2,550 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	437,2 ms	9,3 %
✓	L1-L2-L3	I>> ph-ph	1,050	2,625 In	-60,00 °	400,0 ms	300,0 ms	1,540 s	440,3 ms	10,07 %

Obr. 61 Zkouška směrové nadproudové ochrany - naměřené hodnoty

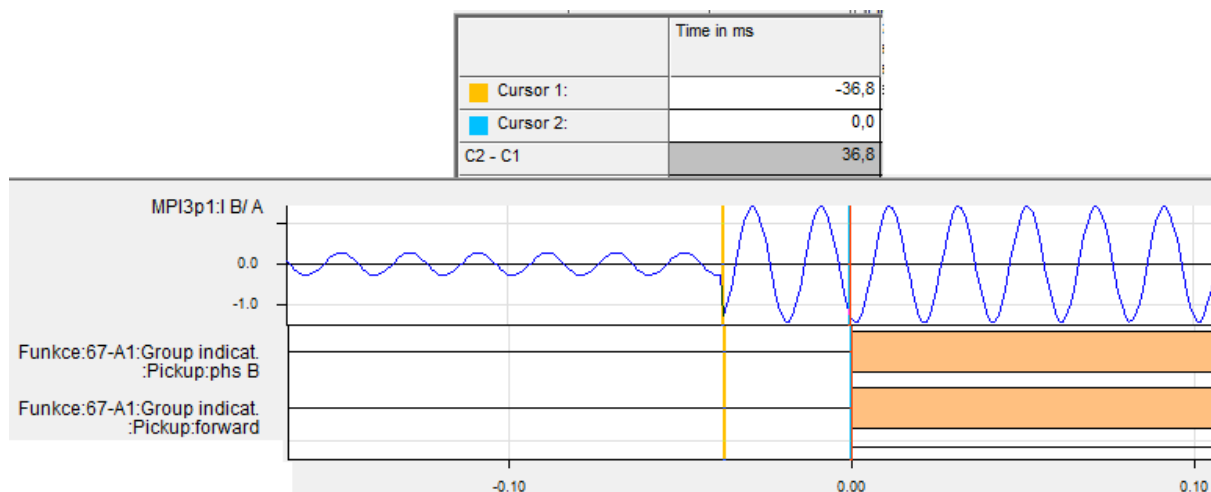
Zkouška, na základě nastavených tolerancí, proběhla ve všech bodech úspěšně a program *Test Universe* následně vykreslí vypínací charakteristiku, kterou lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 62 Vypínací charakteristika nesměrové nadproudové ochrany

### 5.2.2 Rozbor v programu SIGRA

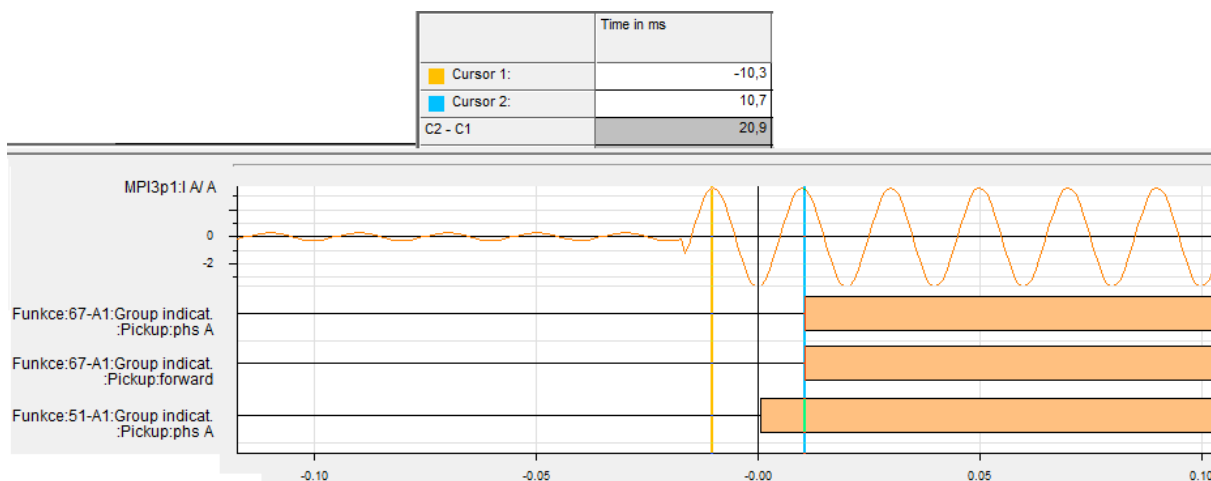
Od překročení nastavené hodnoty prvního stupně směrové nadproudové ochrany do vydání směrového popudu uplyne 36,8 ms. Jsou to tedy necelé dvě periody, kdy ochrana zaznamená poruchový proud a určí jeho směr.



Obr. 63 Popud směrového nadproudu ve fázi B

Po uplynutí časového zpoždění prvního směrového stupně vydává ochrana povel na vypnutí vypínače. Zpětná hláška o vypnutém vypínači trvá stejně, jako v předchozích případech 54 ms.

Při směrovém zkratu ochrana vydá směrový popud za 20,9 ms. Z grafu lze ještě vyčíst, že čas od nesměrového popudu nadproudové ochrany po vydání směrového popudu uplyne 10,1 ms. Toto zpoždění je tedy zapříčiněno směrovým článkem ochrany.



Obr. 64 Popud směrového článku při směrovém zkratu



### 5.3 Sekundární zkouška zapnutí ze studeného stavu

Ve vytvořeném testovacím dokumentu se otevře připravená zkouška *State sequencer*. Aby bylo možné odzkoušet zapnutí ze studeného stavu, musí být vypínač nejméně 35 sekund ve vypnutém stavu a obvodem nesmí téct žádný proud. Jakmile jsou tyto podmínky splněny, otevře se připravená zkouška *State sequencer* a spustí se klávesou F5. Následně se z ochrany zapne vypínač.

#### 5.3.1 Naměřené hodnoty

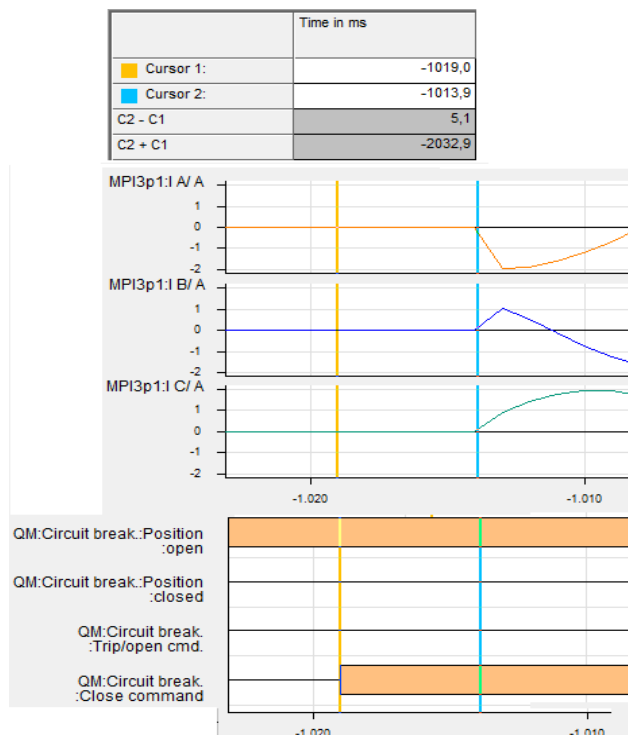
Ochrana správně prodlužuje vypnutí o 1 sekundu a vypíná až za 2,614 sekundy namísto času 1,6 sekundy, který je nastaven u prvního stupně nesměrové nadproudové ochrany. Od nastaveného vypnutí 2,6 sekundy je vypínací čas zpožděn pouze o 13,6 ms z důvodu rychlosti ochrany rozeznat poruchu, binárních výstupů a binárních vstupů Omicronu.

	Time Assessment								
	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	State 1	State 2	Vyp 0>1	2,600 s	100,0 ms	100,0 ms	2,614 s	13,60 ms	✓

Obr. 65 Zkouška zapnutí ze studeného stavu nadproudové ochrany

#### 5.3.2 Rozbor v programu SIGRA

Od vydání zapínacího povelu na vypínač k zapnutí proudu z Omicronu uplyne pouhých 5,1 ms. Můžeme tedy konstatovat, že zkušební zařízení Omicron reaguje velice rychle.

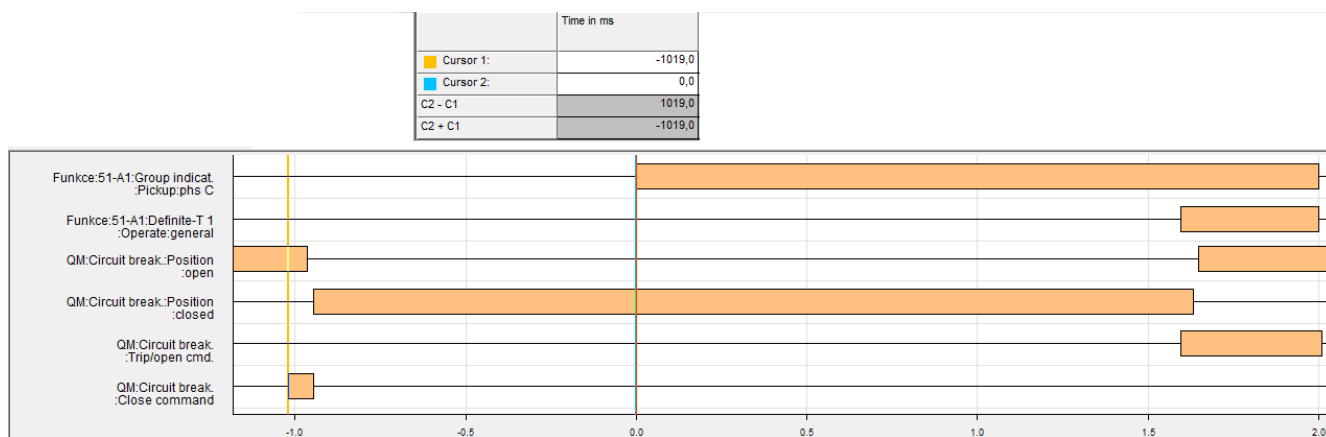


Obr. 66 Zapnutí proudu z Omicronu

Následující graf ukazuje, že od vydání povelu na zapnutí vypínače ochrana po dobu 1019 ms neregistruje žádnou poruchu. Je to zapříčiněno tím, že ochrana má jednu sekundu po vydání zapínacího povelu aktivovanou sadu zapnutí ze studeného stavu, kde pouštěný proud je pod



nastavenou proudovou mezí této funkce. Po uplynutí jedné sekundy začne ochrana pracovat s nastaveným proudem u prvního stupně nesměrové nadproudové ochrany. Jestliže se odečte jedna sekunda, kdy byla aktivována funkce zapnutí ze studeného stavu, ochrana vydává popud po 19 ms. Následný sled události je jako v předchozím případě u zkoušky nesměrové nadproudové funkce. Ochrana vydává po uplynutí 1,6 sekundy povel na vypnutí a vypínač opět vypíná za přibližně 54 ms.



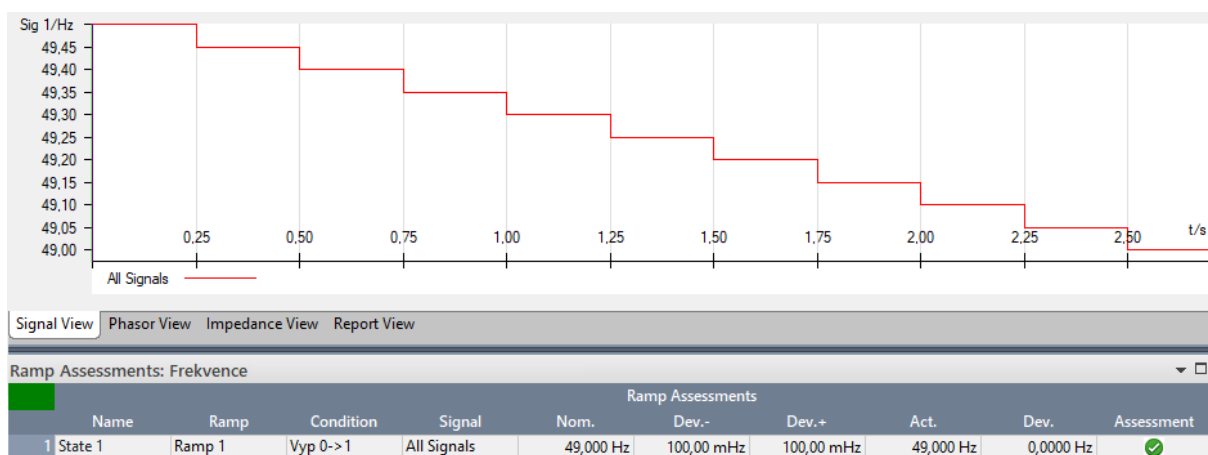
Obr. 67 Zapnutí ze studeného stavu

## 5.4 Sekundární zkouška podfrekvenční ochrany

Ve vytvořeném testovacím dokumentu se spustí připravená zkouška podfrekvenční ochrany. Zkouška je provedena testovacím modulem – *Ramping*.

### 5.4.1 Naměřené hodnoty

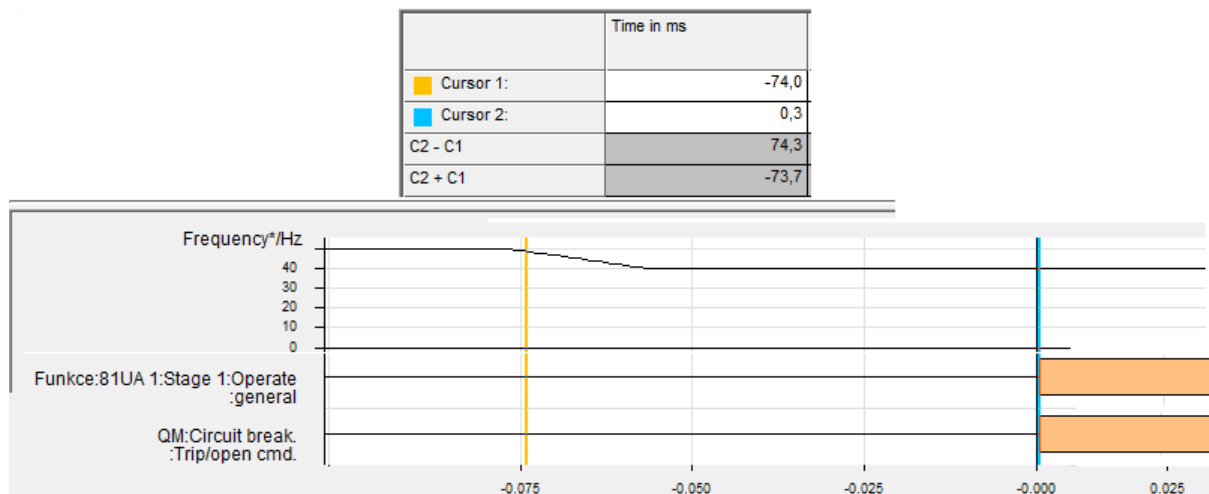
Zkušební zařízení Omicron použije proudy a napětí s frekvencí 49,5 Hz, jak bylo předem nastaveno ve zkoušce. Následně s krokem 50 mHz za 0,25 sekundy se frekvence napětí a proudů snižuje. Tolerance byla nastavená na  $\pm 100$  mHz, ochrana ale velmi přesně vyslala povel na vypnutí při 49 Hz. Program *Test Universe* tedy následně vyhodnotí zkoušku jako úspěšnou s rozdílem 0 mHz.



Obr. 68 Zkouška podfrekvenční ochrany

## 5.4.2 Rozbor v programu SIGRA

Jakmile frekvence klesne pod nastavenou vypínací hodnotu 49 Hz ochrana tuto poruchu zaznamená až po 74,3 ms. Jelikož vypínací čas frekvenční ochrany je nastavený na 0 sekundy, povel na vypnutí vypínače je realizovaný ve stejný čas, kdy ochrana zaznamenala pokles frekvence pod nastavenou mez.



Obr. 69 Působení frekvenční ochrany

## 5.5 Sekundární zkouška automatiky opětného zapnutí

U této zkoušky je zapotřebí mít připravený vypínač. Jelikož je v ochraně nastavená blokovácí doba automatiky opětného zapnutí, kdy musí být vypínač minimálně 20 sekund zapnutý, musí se tato doba počkat, než se může připravená zkouška v programu Test Universe spustit.

### 5.5.1 Naměřené hodnoty

Po uplynutí blokovácí doby automatiky opětného zapnutí se spustí zkouška. Omicronem se vyvolá působení směrové zkratové ochrany, která vypne vypínač a zároveň zastaví proudy a napětí z Omicronu. Od nominálního času je toto vypnutí zpožděno o 37,1 ms zapříčiněno rychlostí ochrany rozeznat poruchu a určit její směr. Od vypínacího povelu z ochrany na vypínač se začíná počítat první beznapěťová pauza, která je nastavená na 0,8 sekundy. Zapínacím povel z ochrany na vypínač se ukončí první beznapěťová pauza a opět se zapnou proudy a napětí z Omicronu. Omicron vyvolá další působení směrové zkratové ochrany. Po vypnutí vypínače následuje druhá beznapěťová pauza, která je nastavená na 30 sekund. Po uplynutí této doby se ochrana opět pokouší zapnout vypínač, ale Omicron opět vyvolá působení směrové zkratové ochrany a vypínač je definitivně vypnut.

Test View: OZL1,L2,L3

Shot and Times

Unsuccessful Sequence

Successful Sequence

Assessment Settings

☒ Enable Test

2

Number of Expected Cycles (0-15)

Add Event

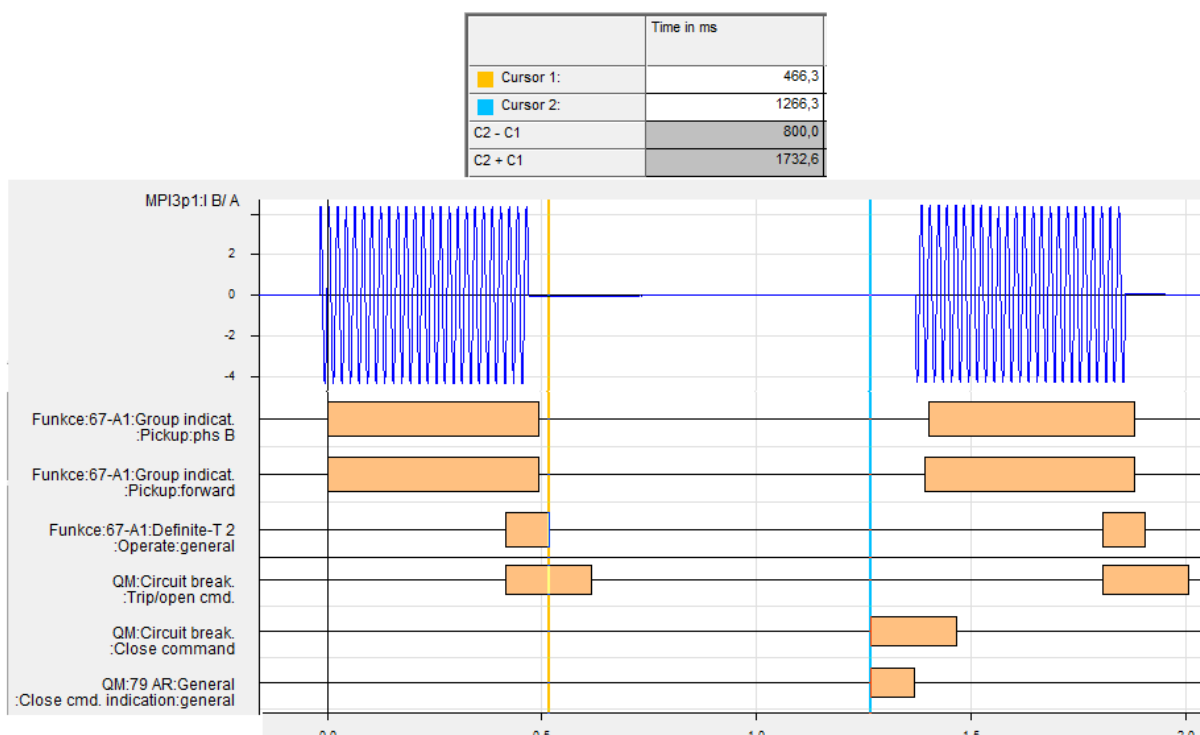
Delete Event

Cycle	Event	Assess Mode	Tnom	+/- Tdev	Tact	Result
1	Trip	Time	400,0 ms	100,0 ms	437,1 ms	✓
	Dead Time	Time	800,0 ms	100,0 ms	850,2 ms	✓
2	Trip	Time	400,0 ms	100,0 ms	439,1 ms	✓
	Dead Time	Time	30,00 s	100,0 ms	30,05 s	✓
Final	3p-Trip	Time	400,0 ms	100,0 ms	429,0 ms	✓
	CB close	Not Expected	n/a	n/a	n/a	✓

Obr. 70 Zkouška automatiky opětného zapnutí

## 5.5.2 Rozbor v programu SIGRA

Jak ochrana detekuje zkrat a určí jeho směr, bylo již rozebráno při zkoušce směrové nadproudové ochrany a v tomto případě se jedná o směrový zkrat a ochrana si s ním poradila stejně. Co se týká samotného působení automatiky OZ, lze na rozboru pozorovat, že čas první beznapěťové pauzy se nespustí od konce poruchového proudu, ale spustí se od konce působení směrového zkratového článku. Po uplynutí nastavených 0,8 sekundy automatika OZ vydává povel na zapnutí vypínače. Následuje opětovné vyvolání poruchy Omicronem a ochrana znovu zapůsobí směrovým zkratovým článkem a od jeho konce je opět počítána druhá beznapěťová pauza, která trvá 30 sekund.



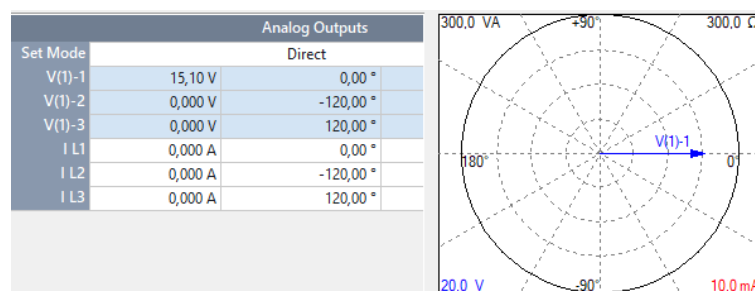
Obr. 71 Působení prvního cyklu automatiky OZ

## 5.6 Sekundární zkouška citlivé detekce zemního spojení

Zkušební zařízení Omicron se musí přepojit ke svorkovnicím v panelu ochran podle obrázku 52. Musí se opět dát pozor na to, že napěťová svorkovnice musí být rozpojená, aby se nepouštělo žádné napětí do napěťových měničů, které by mohli být ke svorkovnici připojené. U proudové svorkovnice, je nutné zkontrolovat správnou uzavřenost proudu.

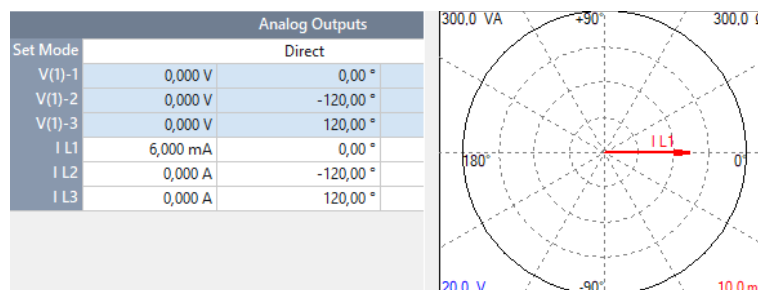
### 5.6.1 Naměřené hodnoty

Zkouška probíhá v QuickCMC velice jednoduše. Nastavená hodnota v sekundárních hodnotách u napětí  $U_0$  je 15 V. Z Omicronu se tedy pustí 15,1 V a ověří se, že ochrana nesignalizuje příslušnou LED diodou.



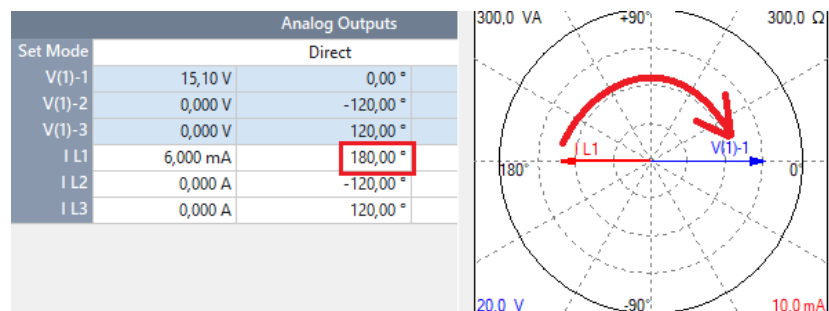
Obr. 72 Zkouška  $U_0$

U zemního proudu  $I_0$  při převodu PTP 400/1 A je nastavená sekundární hodnota 5 mA. V QuickCMC se nastaví 6 mA a ověří se, že ochrana nesignalizuje příslušnou LED diodou.



Obr. 73 Zkouška  $I_0$

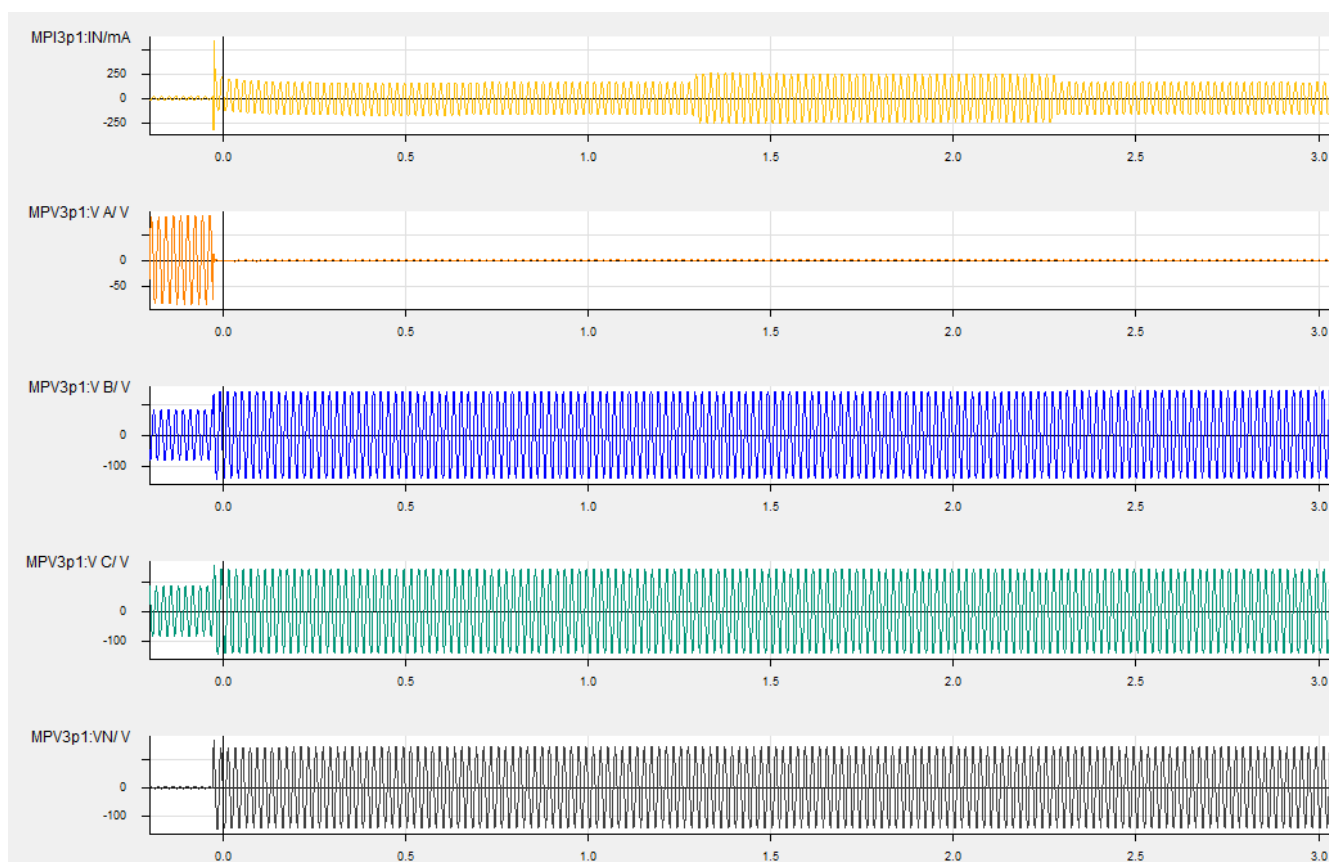
Nyní se nastaví napětí  $U_0$  a proud  $I_0$ , u kterého se bude měnit jeho úhel. Ochrana musí signalizovat pouze, jestliže je proud  $I_0$  ve stejném směru s  $U_0$ .



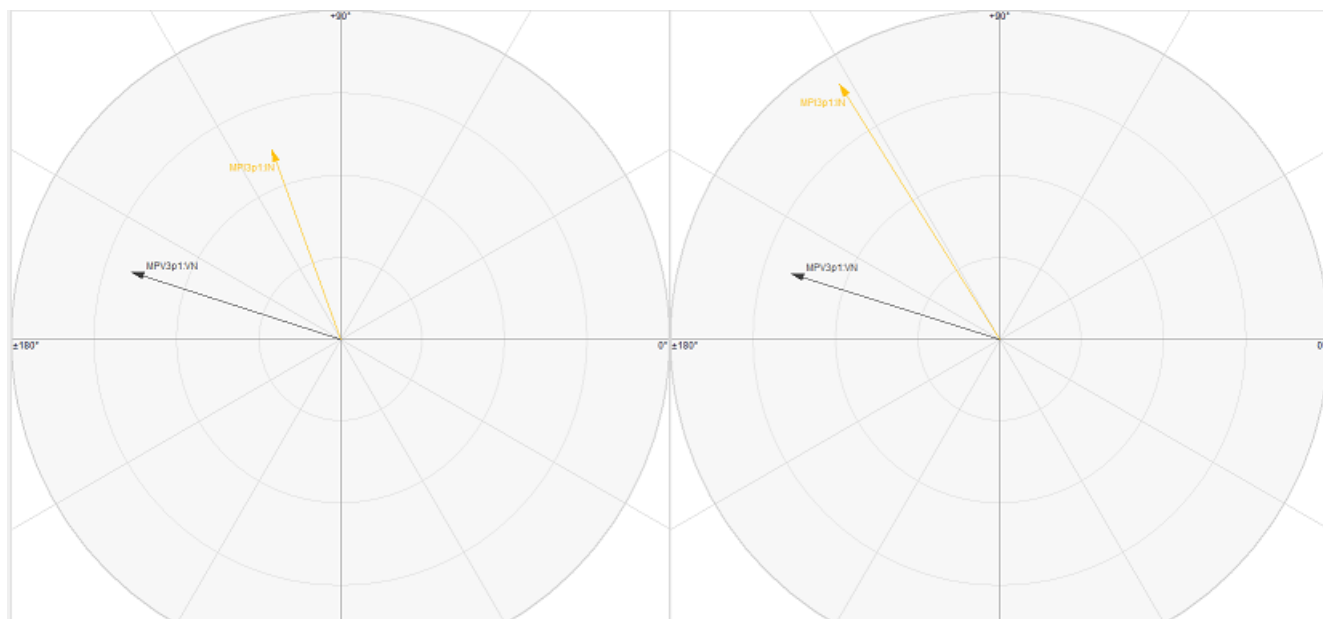
Obr. 74 Změna úhlu  $I_0$

### 5.6.2 Rozbor v programu SIGRA – reálné zemní spojení

Při reálném zemním spojení, jak lze vidět na následujícím grafu, klesá fázové napětí postižené fáze téměř k nule. Napětí zdravých fází se naopak zvýší na velikost přibližně sdruženého napětí. Vznikne nulová složka napětí  $U_0$ , což je napětí mezi uzlem transformátoru a zemí. Dále dochází ke vzniku nulové složky proudu  $I_0$ , který pak teče místem zemního spojení. Přibližně za dobu 1,3 sekundy se k tlumivce ještě připíná paralelně odporník, který do obvodu vnutí činný proud, tekoucí pouze postiženou fází a zároveň způsobí natočení zbytkového proudu a tím dojde ke zmenšení úhlu mezi  $U_0$  a  $I_0$ .

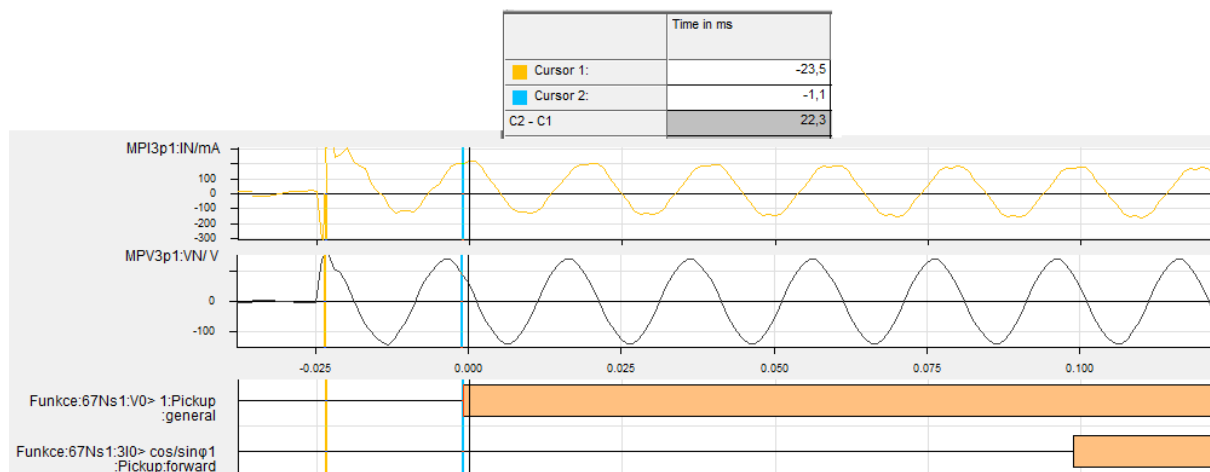


Obr. 75 průběh zemního spojení



Obr. 76 Fázory  $U_0$  a  $I_0$  před a po připojení odporníku

Při zemním spojení dochází k okamžitému nárůstu nulové složky napětí a proudu. Při překročení nastavené hodnoty  $U_0$  ochrana zaznamenaná v čase 22,3 ms, že se jedná o zemní poruchu. Zároveň při překročení nastavené hodnoty  $I_0$  se rozbíhá určení směru tohoto proudu a pokud souhlasí s nastaveným, ochrana po uplynutí nastavených 100 ms hlásí zemní směrovou poruchu.



Obr. 77 Popud zemní směrové ochrany

## 6 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá elektrickou ochranou SIPROTEC 7SJ85 od firmy Siemens. Cílem této práce bylo seznámit se se základními principy fungování této ochrany, jejím typickým nastavením pro chránění vývodu 22 kV a provedením sekundárních zkoušek zkušebním zařízením Omicron. Práce se navíc zabývá analýzou poruchových záznamu ochrany jednotlivých poruch, kde lze názorně vidět, v jakých časech ochrana poruchu zaznamená a vyhodnotí.

První kapitola práce obsahuje teoretický rozbor ochrany a jištění. V této kapitole jsou rozebrány základní požadavky kladené na elektrické ochrany. Následuje rozdělení ochrany podle druhu poruchy, principu činnosti, doby působení, konstrukce a podle typu chráněného úseku. Dále je v kapitole věnována pozornost jednotlivým základním členům ochrany a probírána teorie nadproudových ochrany.

Druhá kapitola se již plně věnuje nadproudové ochraně SIPROTEC 7SJ85. Rozebírá, z jakých částí se tato ochrana skládá, popisuje všeobecné vlastnosti ochrany a ukazuje možnosti nastavení a princip jednotlivých ochranných modulů ochrany, které se běžně používají pro chránění vývodů 22kV.

Třetí kapitola práce se zabývá parametrizací ochrany v programu DIGSI 5. Tento parametrizační program je krátce popsán a následuje ukázka základního nastavení ochrany, kde je důležité ochraně nastavit s jakým zapojením PTP a PTN má vůbec pracovat. Poté je názorně ukázáno, jak vypadá nastavení jednotlivých ochranných funkcí ochrany a jsou vysvětleny některé základní parametry.

Ve čtvrté kapitole je proveden návrh sekundárních zkoušek. Kapitola se nejdříve zabývá testovacím zařízením Omicron CMC 156, kde jsou popsány jeho jednotlivé části. Následuje schéma zapojení Omicronu a ochrany, které se využije pro testování všech ochranných modulů vyjma zkoušky zemního spojení, kde je nutné testovací zařízení přepojit na jiné svorky ochrany. Kapitola dále ukazuje základní nastavení programu Test Universe, který slouží k ovládání testovacího zařízení Omicronu. Jednotlivé návrhy sekundárních zkoušek obsahují zadání, schéma zapojení, krátký teoretický rozbor a nastavení testovacího modulu programu Test Universe.

Závěrečná kapitola této práce je věnována praktickému provedení sekundárních zkoušek přímo na rozvodně. Je zde provedeno odzkoušení jednotlivých ochranných modulů pomocí předem připravených zkoušek v programu Test Universe. Výsledky těchto zkoušek jsou zobrazeny a poté rozebrány. Následně jsou z ochrany staženy poruchové záznamy jednotlivých poruch a v programu SIGRA je analyzováno působení ochrany a rychlost její reakce.

Z průměrných času působení jednotlivých poruch, které byly zaznamenány programem Test Universe a analýzou působení ochrany v programu SIGRA je vytvořena následující tabulka. Průměrný čas působení zaznamenaný programem Test Universe obsahuje mimo rychlost detekce poruchy ochranou ještě rychlost binárních výstupu z ochrany a rychlost binárních vstupů Omicronu. V programu SIGRA je analyzována každá jednotlivá porucha a záznam ukazuje pouze rychlost detekce poruchy ochranou. Z tabulky je patrné, že nejhůř si ochrana dokáže poradit s podfrekvencí, kterou rozezná až za 74,3 ms. Nadproudové poruchy a zemní spojení detekuje ochrana naopak velmi rychle, u zkratu to je dokonce za 9,8 ms.

Tab 2 Shrnutí působení ochrany

Typ poruchy	Průměrný čas působení z programu Test Universe	Rychlost ochrany z rozboru v programu SIGRA
Nadproud	24,3 ms	14,4 ms
Zkrat	22,6 ms	9,8 ms
Směrový nadproud	33,5 ms	36,8 ms
Směrový zkrat	36,1 ms	20,9 ms
Podfrekvenční	94,2 ms	74,3 ms
Zemní spojení	( - )	22,3 ms



## Použitá literatura

- [1] JANÍČEK, František, Vladimír CHLADNÝ, Anton BELÁŇ a Žaneta ELESCHOVÁ. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2004. ISBN 9788022721356.
- [2] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00630-9.
- [3] SIEMENS. *SIPROTEC 5 Nadproudová ochrana 7SJ82/7SJ85: Příručka*. 2013.
- [4] MEDVEC, Zdeněk. *Ochrany a automatiky v rozvodu. Učební texty pro magisterské kombinované studium*. Vysoká škola báňská -TUO
- [5] OMICRON. *CMC 156, reference manual: Version CMC156.AE.9*.
- [6] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1985.
- [7] Blokša, M.: *Indikace zemního spojení v sítích vn*, Konference ČK CIRED, 2005